

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Лежнюк П.Д.

«__» _____ 20__ р.

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
зо освітнім ступенем «магістр»

**ВИБІР НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗУ ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З
ФОТОВОЛЬТАЇЧНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ**

08-13.МКР.013.00.094 ПЗ

Виконав: студент групи ЕСМ-18м,
спеціальності 141 –
«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
Освітня програма – «Електричні
системи та мережі»
Лисий В.М. _____
Керівник: д.т.н., проф. Лежнюк П. Д.

«__» _____ 2018 р.

Рецензент: _____

«__» _____ 2018 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Лежнюк П.Д.

« ___ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу на здобуття освітнього ступеня «магістр»
зі спеціальності: 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка. Освітня програма – «Електричні системи та мережі»
(шифр – назва спеціальності)

08-13.МКР.013.00.002.ІЗ

Магістранта групи ЕСМ-18м Лисий Владислав Михайлович
(назва групи) (прізвище, ім'я і по батькові)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Вибір накопичувачів електричної
енергії для забезпечення прогнозу виробітку електроенергії з
фотовольтаїчної електричної станції.

Вихідні дані: Перелік літературних джерел за тематикою роботи.
Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення
обчислювальних експериментів.

П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, О.Б. Бурикін «Оптимізація функціонування
відновлюваних джерел енергії в місцевих електричних системах»,
Монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2018. –124 с.

N. S. Rau and Y.-H. Wan. "Optimum location of resources in distributed
planning" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, pp. 2014-2020, Nov. 1994.

Короткий зміст частин магістерської кваліфікаційної роботи

1. Графічна: плакати
2. Текстова (пояснювальна записка): Вступ. Засоби зберігання
електричної енергії. Розрахунок ємності накопичувача. Економічна частина.

Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел.

Консультанти з окремих розділів магістерської кваліфікаційної роботи:

Науковий керівник

(підпис)

доц. техн. наук, професор кафедри ЕСС

наук. ступінь, вчене звання (посада)

П.Д. Лежнюк

“ ____ ” _____ 2019 р.

Економічна частина

(підпис)

канд. техн. наук, доцент кафедри ЕСС

наук. ступінь, вчене звання (посада)

В.В. Нетребський

“ ____ ” _____ 2019 р.

Охорона праці та безпека
в надзвичайних ситуаціях

(підпис)

д-р тех. наук, доц., професор кафедри ЕСС

наук. ступінь, вчене звання (посада)

Є. А. Бондаренко

“ ____ ” _____ 2019 р.

Дата попереднього захисту роботи “ ____ ” _____ 2019 р.

Рецензент

(підпис)

(наук. ступінь, вчене звання , посада)

“ ____ ” _____ 2019 р.

(ініціали та прізвище)

Завдання видав

(підпис)

доц. техн. наук, професор. кафедри ЕСС

(наук. ступінь, вчене звання, посада)

П.Д. Лежнюк

“ ____ ” _____ 2019 р.

Завдання отримав магістрант

(підпис)

В. М. Лисий

(ініціали та прізвище)

“ ____ ” _____ 2019 р.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	5
АНОТАЦІЯ.....	8
ABSTRACT.....	9
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП.....	11
1 ЗАСОБИ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА МОДЕЛІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ.....	15
1.1 Засоби акумулювання та збереження енергії	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.2 Зберігання енергії за допомогою літій-іонних технологій..	Ошибка! Закладка не определена.
1.2 Тенденції та напрямки розвитку ринку СЕЗБ	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Моделі зберігання електричної енергії фотовольтаїчних електричних станцій.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.3.1 Модель вартості автономних СЕЗБ	Ошибка! Закладка не определена.
1.3.2 Сумісна система зв'язана на АС та DC (100 МВт) плюс зберігання (60 МВт- 240 МВт·год, тривалість 4 години)	Ошибка! Закладка не определена.
1.4 Ефективність та вартість технологій накопичувачів електроенергії	Ошибка! Закладка не определена.

1.5 Вплив віртуальних організацій на забезпечення прогнозу виробітку електроенергії..... **Ошибка! Закладка не определена.**

1.6 Огляд робіт у напрямі технологій накопичення енергії..... **Ошибка! Закладка не определена.**

2 РОЗРАХУНОК ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ДОТРИМАННЯ ГРАФІКУ ГЕНЕРАЦІЇ ФЕС **Ошибка! Закладка не определена.**

2.1 Модель визначення ємності накопичувача за умов збільшення генерації ФЕС..... **Ошибка! Закладка не определена.**

2.2 Визначення ємності накопичувача для підвищення балансу генерації ФЕС..... **Ошибка! Закладка не определена.**

2.3 Підвищення надійності електричних мереж з ВДЕ. **Ошибка! Закладка не определена.**

2.3.1 Вплив впровадження ВДЕ на електропостачання споживачів.
..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ
..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1 Задача розділу..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1.1 Аналіз умов праці під час виготовленням модульних будівель.
..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1.2 Розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці при виготовленні модульних будівель. **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1.3 Організаційно-технічні рішення з охорони праці за стандартами України щодо праці в електроустановках та під час робіт на висоті
..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.2 Розрахунок освітлення виробничого цеху **Ошибка! Закладка не определена.**

- 3.2.1 Вибір джерела світла **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.2.2 Вибір типу освітлення **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.2.3 Систем освітлення **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.2.4 Вибір освітленості і коефіцієнту запасу **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.2.5 Вибір світильників..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.2.6 Розміщення освітлювальних приладів **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.2.7 Визначення потужності однієї лампи світильника **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.3 Електротехнічна частина **Ошибка! Закладка не определена.**
 - 3.3.1 Вибір живлячих кабелів і проводів. Вибір місця монтажу КМО і ЩВО **Ошибка! Закладка не определена.**
 - 3.3.2 Вибір захисної апаратури..... **Ошибка! Закладка не определена.**
 - 3.3.2 Перевірка вибраних проводів на механічну стійкість **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.4 Протипожежний захист..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 3.5 Дослідження стійкості роботи елементів ФЕС в умовах дії загрозливих чинників надзвичайної ситуації **Ошибка! Закладка не определена.**
 - 3.5.1 Дослідження стійкості роботи елементів ФЕС в умовах дії іонізуючих випромінювань **Ошибка! Закладка не определена.**
 - 3.5.2 Дослідження стійкості електричної частини ФЕС в умовах дії ЕМІ **Ошибка! Закладка не определена.**

3.5.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електричної частини ФЕС у надзвичайних ситуаціях..... **Ошибка!**

Закладка не определена.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ СИСТЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ	70
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
Додаток А_Показники вартості зберігання для СЗЕ.....	83
Додаток Б_Детальний розподіл вартості автономної СЗЕ	84
Додаток В_Вартість експлуатації в залежності технології.....	85
Додаток Г_Добові небаланси за рік	86
Додаток Д_Слайди, що відображають зміст магістерської роботи.....	87

АНОТАЦІЯ

Лисий В. М. «Вибір накопичувачів електричної енергії для забезпечення прогнозу виробітку електроенергії з фотовольтаїчної електричної станції»

Магістерська дипломна робота. – Вінниця.: ВНТУ. 2019. – 94 с. Рис.29, Бібліогр.17, Табл. 23.

В магістерській роботі розглянуто види систем зберігання енергії їх конфігурація переваги та недоліки, зроблено аналіз моделей вартості та наукових робіт за даним напрямом, проаналізовано ефективність таких систем, розраховано ємність накопичувача енергії. Охорона праці. Економічна частина. На основі отриманих практичних та теоретичних даних обґрунтовано доцільність впровадження систем накопичення електричної енергії для забезпечення прогнозу виробітку електроенергії з фотовольтаїчної електричної станції.

ABSTRACT

Lysy V. M. «Choice of electric energy storage for providing forecast of electricity generation from photovoltaic power plant»

Master's thesis. - Vinnytsia .: VNTU. 2019 - 94 p. Fig. 29, Bibliographer.17, Tab. 23.

The master's thesis deals with the types of energy storage systems, their configuration of advantages and disadvantages, the analysis of cost models and scientific works in this direction, the efficiency of such systems, the capacity of energy storage is calculated. Occupational Health. The economic part. On the basis of the received practical and theoretical data, the feasibility of introducing electricity storage systems to provide a forecast of electricity generation from a photovoltaic power plant has been substantiated.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії;
- ВДЕ – відновлювані джерела електроенергії;
- ВЕС – вітрова електрична станція;
- ЕЕС – електроенергетична система;
- ЕМ – електрична мережа;
- ЛЕП – лінія електропередачі;
- ЛЕС – локальна електрична система;
- СЗЕ – Системи збереження енергії;
- ПБН – показники балансової надійності;
- ПК – програмний комплекс;
- РГ – розосереджене генерування;
- РДЕ – розосереджені джерела енергії;
- РЕМ – розподільні електричні мережі;
- РП – розподільний пристрій;
- СЕС – сонячна електрична станція;
- ТЕС – теплова електрична станція;
- СЕЗБ – системи енергозберігаючих батарей.
- ФЕС – фотоелектрична станція

ВСТУП

Актуальність теми досліджень. Залишок не відновлювальних джерел електроенергії та стан навколишнього середовища змусило людей переходити на нові джерела накопичення енергії.

Такий перехід на відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) попри успіх не є ефективним, через ряд особливостей, таких як: нерівномірний графік генерації та складність у прогнозуванні виробітку електроенергії.

Енергосистемі для ефективної роботи потрібні компенсаційні потужності які будуть покривати піки навантаження через зміну генерації. Наявність «зеленого тарифу» пришвидшило впровадженням фотовольтаїчних електричних станцій, і як наслідок потребу в компенсаційних потужностях, що будуть поглинати коливання поточного попиту та усувати сезонну нестабільність. Також така велика кількість станцій дозволяє стабілізувати роботу електричної мережі (ЕМ), покращити якість електроенергії, підтримувати напругу та частоту, виконувати баланс потужностей. Перелічені переваги можна покращити шляхом впровадження систем накопичення енергії, що дасть змогу вирівнювати графік генерації та реалізовувати в повній мірі потенціал ВДЕ.

Ще однією мотивуючою обставиною є розвиток країн у напрямі відновлювальної енергетики. За даними агенції IRENA в 2050 р. понад 80% світової електроенергії буде отримуватися з ВДЕ, що змушує до дослідження питання джерел накопичення енергії, адже як показано в роботі системи накопичення енергії є кпітало-затратними як на етапі встановлення так і на етапі експлуатації.

При досягненні високої частки генерації енергії з вітру та сонця, що очікуються після 2030 р. в довгостроковій перспективі стає надзвичайно важливою необхідність зберігання енергії для нівелювання коливань у

видобутку та споживанні енергії протягом декількох днів, тижнів або місяців. Окрім високої гнучкості системи, це вимагатиме від технологій зберігання низьких витрат та здатності зберігати електроенергію впродовж більш тривалого часу, аби балансувати сезонні та річні коливання.

Наявність перебоїв в електроенергії, спричинені різними ситуаціями природнього та техногенного характеру, також підкреслили необхідність підвищення надійності та стійкості електроенергетичних систем (ЕС). Інтеграція відновлюваної генерації та зберігання енергії пропонує спосіб економічно диверсифікувати та зміцнити національний енергетичний портфель.

Історично склалося, що вартість була перешкодою для впровадження PV генерації та систем зберігання, але вдосконалення обох типів технологій швидко змінюють економіку. Зокрема, використання літій-іонних акумуляторів в американських проектах за останні роки зросло завдяки сприятливим витратам та характеристикам технології. Тим не менше, додаткові програми для зберігання відновлювальної генерації в проектах знаходяться в зародковому стані. Єдиною такою американською системою, записаною в базі даних накопичення енергії США є станція з потужність генерації 13-МВт та з 52-МВт·год система зберігання енергії в Кауаї, Гаваї.

Мета і задача дослідження. Метою роботи є дослідження джерел накопичення енергії для дотримання прогнозованого графіку генерації. Порівняння типів СЗЕ та їх ефективності в залежності від способу виконання та експлуатації.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються наступні задачі:

- дослідити технології, що дозволяють накопичувати та акумулювати електроенергію;
- проаналізувати напрями в розвитку СЗЕБ;
- опрацювати моделі, що поєднують генерацію з накопиченням різних типів та конфігурацій;

- розглянути можливе впровадження ІТ технологій в даному напрямі;
- проаналізувати роботи, для кращого освоєння тенденцій розвитку СЗЕ;
- зробити розрахунок ємності накопичувача та вплив його на електричну мережу;
- проаналізувати нормативні документи з охорони праці, та згідно аналізу умов праці здійснити заходи для попередження травмування та дотримання всіх правил по ОП, розрахувати штучне освітлення для виробничого цеху до проходить будівництво модульних будівель;
- розрахувати залежність витрат на СЗЕ від технологій, що можуть бути застосовані для цього.

В роботі для досягнення мети використовувалися аналіз «знизу в гору» тобто отриманий результат є сумою попередніх.

Предмет дослідження – системи, що можуть накопичувати електричну енергію та працювати разом з фотовольтаїчними електричними станціями.

Об’єкт дослідження – методи розрахунку ємності накопичувачів електроенергії та аналіз витрат на їх експлуатацію

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- визначено переваги різних видів накопичувачів енергії їх вплив на ЕМ. Проаналізовані витрати дадуть можливість кращого вибору систем зберігання енергії та її конфігурації.

Практичне значення одержаних результатів

Приведений розрахунок дає можливість вибору ємності накопичувача, що буде дозволяти дотримуватися графіку генерації та дасть можливість покращити параметри електричної мережі, Отримані результати можуть використовуватися як для проектування СЕС з системами накопичення так і для реконструкції існуючих станцій.

1 ЗАСОБИ ЗБЕРІГАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА МОДЕЛІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ

Нещодавнє стрімке зростання розміщення фотоелектричних (PV) масштабних комунальних послуг та зменшення витрат на технології зберігання енергії стимулювали інтерес до поєднання PV із накопичувачем

енергії для забезпечення енергії, що виводиться (тобто енергії на вимогу) та надійної потужності (тобто стабільності мережі) .

Зокрема, використання літій-іонних акумуляторів в американських утилітах за останні роки зросло завдяки сприятливим витратам та характеристикам технології. Це дослідження є нашим першим використанням моделювання зростання для порівняння встановлених витрат різних автономних літій-іонних накопичувачів (зі сховищем, підключеним лише до мережі) та PV-плюс-накопичувачами (із сховищем, підключеним до ПВ та сітки) системних конфігурацій. Конфігурації накопичувача PV-plus включають в себе 1) сумісні системи зберігання PV-plus порівняно з системами зберігання PV-plus у різних місцях, і 2) конфігурації акумуляторів постійного струму (постійного струму) і змінного струму (змінного струму). для спільно розташованих систем зберігання PV-plus

Рис.1 показує змодельовану вартість автономних літій іонних систем зберігання з встановленою ємність 60 МВт здатною для забезпечення електроенергією декількох різних проміжків часу. Припускаючи постійну вартість відсотка-енергії батареї коштуватиме 209 дол. за кВтгод., вартість системи змінюватиметься від 380 до 895. Вартість батареї становить 55% від загальної вартості системи в 4-годинній системі, але лише 23% в 0,5-годинній системі. У той же час, категорії, що не мають акумулятора, становлять зростаючу частку системних витрат, оскільки тривалість зменшується.

На малюнку Рис. 2 узагальнені результати нашої моделі зберігання PV-plus систем для декількох типів та конфігурацій. Кожен використовує 100-МВт-фотосистему PV та літій-іонний акумулятор потужністю 60 МВт, який забезпечує 4 години зберігання: Розміщення PV підсистеми з зберіганням дозволяє заощадити витрати за рахунок зменшення витрат, пов'язаних з підготовкою ділянки, придбанням земельної ділянки, дозволом, взаємозв'язком, роботою з монтажу, обладнання (за допомогою спільного

використання апаратних засобів, таких як розподільні пристрої, трансформатори та управління), накладних витрат та отримання прибутку. Вартість спільно розташованої системи, пов'язаної з постійним струмом, на 8% нижча, ніж вартість системи з ПВ та сховищем, розміщених окремо, а вартість спільно розташованої системи, пов'язаної з змінного струму, на 7% нижча.

Використання з'єднання постійного струму, а не з'єднання змінного струму призводить до зниження на 1% загальної вартості, що є чистим результатом різниці витрат між муфтою постійного та змінного струму в категоріях сонячного інвертора, структурного балансу системи (BOS), електричного BOS, робоча сила, EPC (інжиніринг, закупівлі та будівництво) та *накладні витрати*, податок з продаж, надзвичайні ситуації та прибуток.

Однак для реального проекту економія витрат може бути не єдиним фактором вибору з'єднання постійного струму чи змінного струму. Необхідно враховувати додаткові фактори, такі як міркування щодо модернізації, працездатність системи, гнучкість проектування та експлуатацію та обслуговування.

Орієнтовані витрати можуть полегшити розробку проектів PV-генерації з зберіганням, а деталізована економія витрат може стимулювати розгортання спільно розташованих систем PV-генерації з зберіганням. Крім того, модель може допомогти представникам галузі оцінити вплив витрат на різні тривалість роботи акумулятора для сіткових додатків. Нарешті, модель може бути використана для оцінки майбутніх потенційних можливостей скорочення витрат для систем PV-генерації з зберіганням, допомагаючи керувати дослідженнями та розробками, спрямованими на просування ефективних конфігурацій системи

Нещодавнє швидке зростання фотоелектричних (PV) впроваджень та зменшення витрат на технології зберігання енергії стимулювали інтерес до поєднання PV генерації із накопиченням енергії для забезпечення енергією,

що продається, та надійну потужність - особливо, коли американський ринок зберігання комунальних послуг почав відходити від короткострокового регулювання електроенергії та до довгострокового часового переходу відновлюваної генерації. Масштабні перебої в електроенергії, спричинені останніми надзвичайними погодними / пожежними подіями в Пуерто-Рико, Х'юстоні та Каліфорнії, також підкреслили необхідність підвищення надійності та стійкості електроенергетичних систем США. Інтеграція відновлюваної генерації та зберігання енергії пропонує спосіб економічно диверсифікувати та зміцнити національний енергетичний портфель.

Історично склалося, що вартість була перешкодою для впровадження PV та технологій зберігання, але вдосконалення обох типів технологій швидко змінюють економіку. Зокрема, використання літій-іонних (літій-іонних) акумуляторів в американських утилітах за останні роки зросло завдяки сприятливим витратам та характеристикам технології. Тим не менше, додаткові програми для зберігання PV-plus на утиліті знаходяться в зародковому стані. Єдиною такою американською системою, записаною в базі даних накопичення енергії США (Міністерство енергетики США), є 13-МВт-ПВ плюс 52-МВт-год система зберігання енергії в Кауаї, Гаваї.

З метою надання базової лінії для точної та прозорої оцінки систем корисного зберігання PV-plus, у цьому звіті ми використовуємо новий інструмент моделювання "знизу вгору" Національної лабораторії з відновлюваної енергії для порівняння встановлених витрат на різні окремі літій-іонні конфігурації системи зберігання та PV-plus-зберігання для додатків утиліти. Наш аналіз ілюструє компроміси між виборами системи, включаючи батареї короткої та довгої тривалості, спільне розташування проти окремого розташування підсистеми акумулятора та ПВ та постійний струм (постійний струм) проти з'єднання змінного струму (змінного струму) спільно розташованого PV-плюс- системи зберігання.

Решта цього звіту структурована наступним чином. У розділі 2 наведено короткий огляд варіантів технології зберігання енергії та історії розгортання. У розділі 3 присвячено тенденції зберігання літій-іонних акумуляторів. Розділ 4 описує наші моделі витрат, а розділ 5 показує модельовані результати витрат.

Властивості технологій зберігання енергії та історія розвитку

За минуле століття було впроваджено численні технології зберігання енергії. Ранні масштабні системи, як правило, використовують фізичні або теплові носії інформації. Однак широкому використанню таких систем заважають витрати, щільність енергії та недоліки розміщення.

Наприклад, у накачаній системі зберігання води вода перекачується в гору у водойму, а пізніше випускається під гору через гідрогенератор для перетворення накопиченої потенційної енергії в електроенергію. Перша масштабна гідросистема з насосом в США була побудована в 1929 році поблизу Нью-Мілфорда, штат Коннектикут (DOE 2018). У 1985 році найбільша в країні насосна гідросистема - потужність генерації 3 ГВт - була закінчена в окрузі Бат, штат Вірджинія, після 8 років будівництва (DOE 2018). По всій країні сьогодні працює 40 насосних гідросистем (DOE Data Storage Database 2018). Зазвичай ця технологія має енергоефективність у напрямку до 70% -80%, однак розміщення є серйозними проблемами.

Рентабельні ділянки повинні мати характеристики, які дозволяють зашкодити водні шляхи для створення водойми, як правило, вимагаючи великої площі, віддаленої від центрів попиту на енергію. Навіть коли визначена відповідна ділянка, міркування щодо навколишнього середовища та власності на землю можуть перешкоджати затвердженню проекту.

Зберігання енергії стисненого повітря (CAES) - це ще одна створена технологія, яка використовує фізичний механізм зберігання. Енергія зберігається за рахунок стиснення повітря, а згодом повітря розширюється для отримання електроенергії. Одинок велика система CAES, що працює в США, - це потужність потужністю 110 МВт в Макінтоші, штат Алабама, яка використовує стиснене повітря для більш ефективного запуску турбіни природного газу (DOE Energy Storage Database 2018). CAES тягне за собою недоліки, які перешкоджають його розгортанню. Масштабні системи зазвичай вимагають конкретних географічних характеристик, таких як підземні печери, які можуть бути запечатані для утримання стисненого повітря. Крім того, ефективність поточних технологій у прямому напрямку становить лише 40% -55% (Chen et al. 2013), а природний газ споживається в процесі реконверсії. Однак нові підходи CAES пропонують більш високу теоретичну ефективність та виробництво без необхідності спалювання викопного палива (Energy Storage Association 2018).

Останнім часом інші види накопичення енергії почали розгортатися в масштабах. На Рис. 1 показані характеристики технологій зберігання енергії для систем, побудованих у період з 1958 по 2017 рік у всьому світі, класифіковані за типом накопичення: електрохімічні, електромеханічні, теплові та на основі водню. Насосне гідромашина не показана, оскільки її глобальна потужність значно більша, ніж потужність інші технології. Ці технології можуть бути згруповані в енергетичних додатках (короткий час або час розряду, таких як літій-іонні батареї) та енергетичних додатках (тривала тривалість або час розряду, наприклад CAES). За винятком насосної

гідросистеми, технології з найбільшою розгорнутою потужністю - це теплові накопичувачі розплавленої солі (пов'язані з концентрацією сонячних електростанцій), CAES та літій-іонні акумулятори.

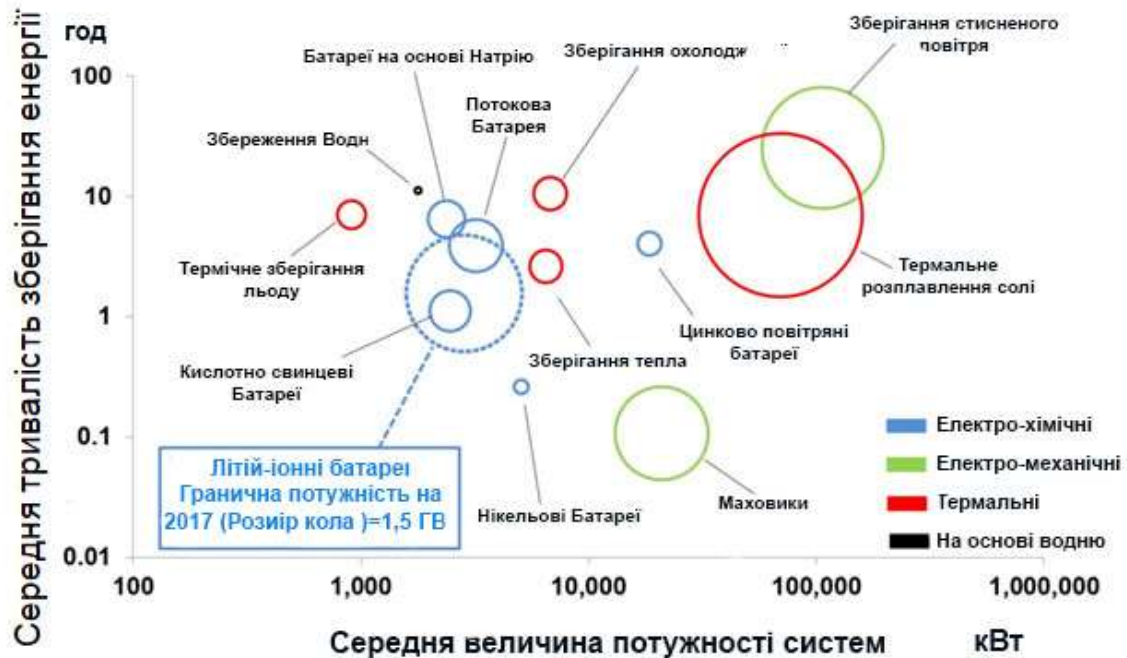


Рис.3 – Середні характеристики систем зберігання енергії в світі побудовані між 1958 та 2017

На Рис.3 показано швидке зростання останніх літій-іонних накопичень енергії. Перший зафіксований літій-іонний проект вагомого масштабу, демонстрація допоміжних послуг батареї 1-МВт Altairnano-PJM в Пенсильванії, був побудований у 2008 році. Між 2008 та 2015 роками літій-іонна потужність зростає зі складними річними темпами зростання в 173% у в термінах накопичувальної потужності та літій-іонної потужності припадало 89% річної потужності накопичувача енергії у 2015 році. Дані за 2016 та 2017 роки є попередніми та неповними, оскільки деякі проекти, побудовані в цей часовий проміжок, все ще перевіряються в базі даних.

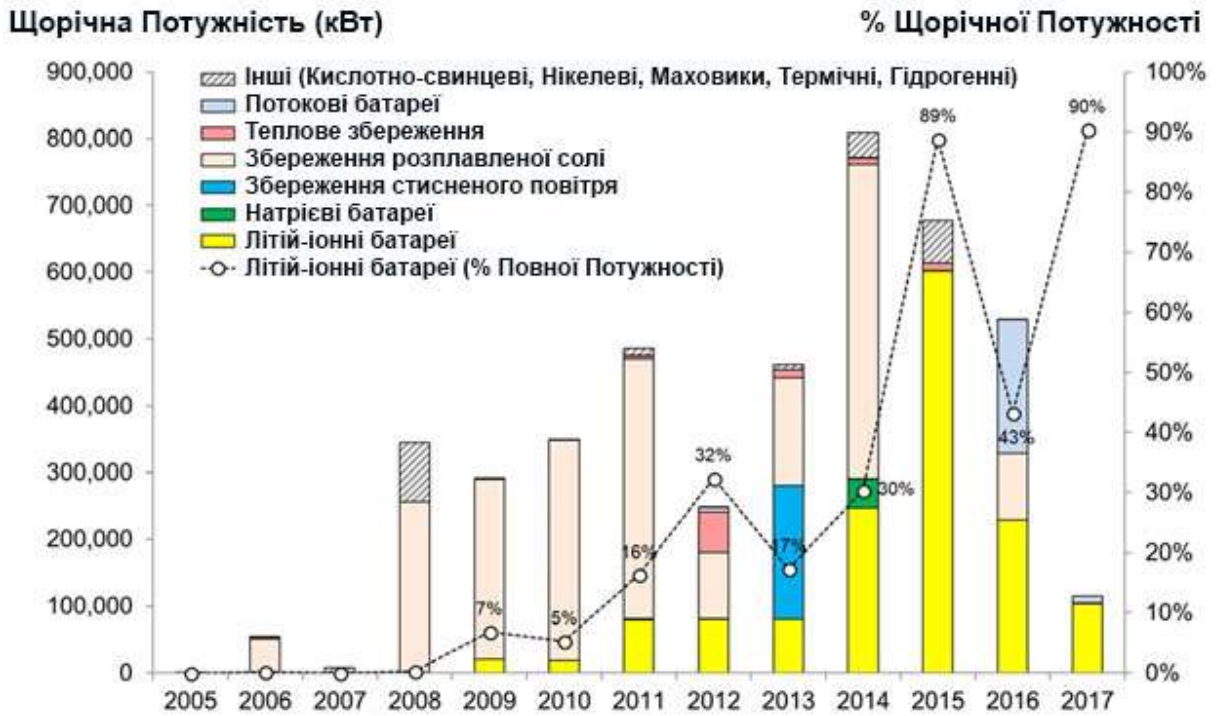


Рис.4 Середньорічна потужність систем зберігання енергії побудованих в 2005 і 2017.

3 Літій-іонні батареї, напрям зберігання

Утиліти почали впроваджувати літій-іонні сховища через високу ефективність технології, високу щільність потужності, велику доступність ланцюга живлення, падіння витрат на стільникові та системи та сприятливі показники продуктивності. На сьогоднішній день більшість літій-іонних застосувань забезпечували короточасну стабілізацію електроенергії та електромережі, захоплюючи значення різних служб, включаючи частотну характеристику, регулювання напруги, резервування прядок, відхилення передачі, пікове гоління та реакцію на попит - і часто забезпечують позитивну віддачу за допомогою цього укладання значень.

У всьому світі літій-іонні системи мають середню тривалість 1,6 годин та номінальну потужність 2,8 МВт на систему (рис. 1). Забезпечення перемикання навантаження потребуватиме більших акумуляторних батарей, на які в даний час припадає найбільша частка системних витрат.

Сполучені Штати є лідером у світі з розгортання літій-іонних накопичувачів, в основному, завдяки системам зберігання даних утилітних масштабів. У період з 2008 по 2017 рік він становив 40% сукупної глобальної літій-іонної ємності (рис. 3). Із літій-іонних потужностей США до 2017 року приблизно 495 МВт (92% потужності) було розгорнуто в секторі комунальних послуг (системи більше 1000 кВт), 8% - у комерційному секторі (системи 10–1 000 кВт) , і менше 1% у житловому секторі (системи менше 10 кВт), як показано на рис. 4

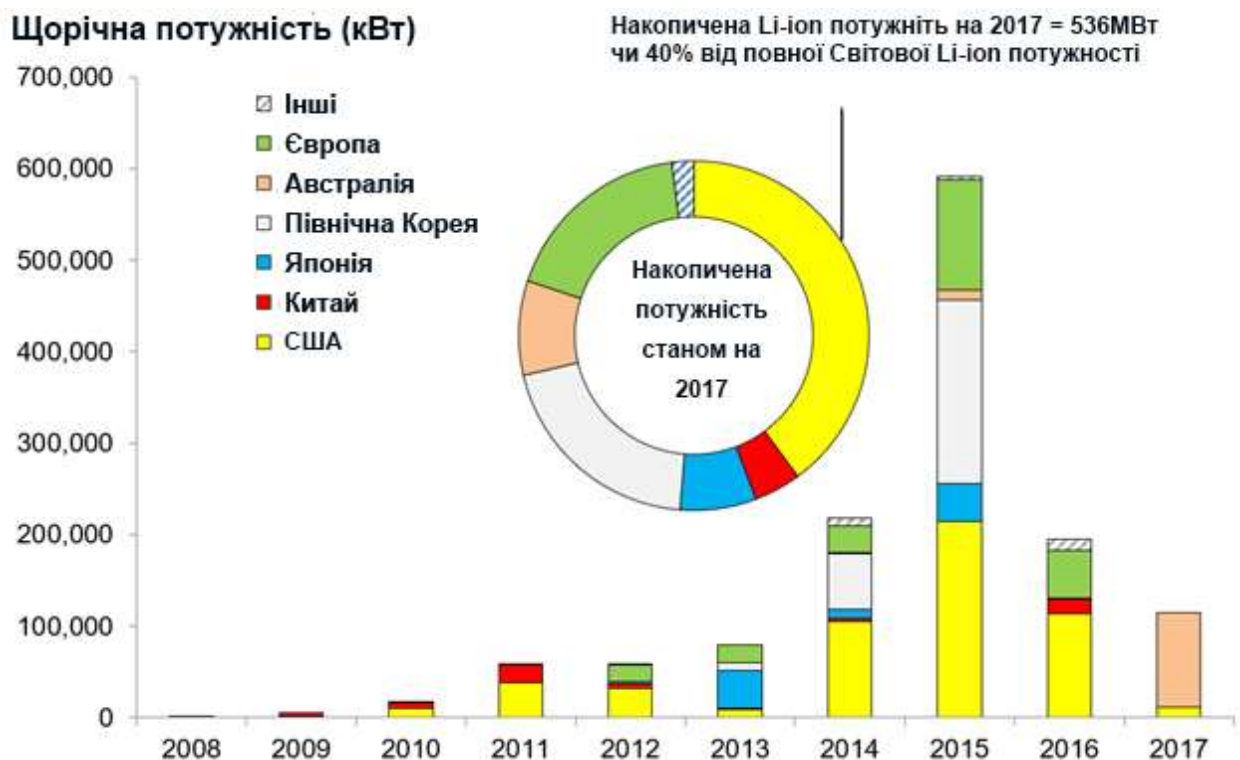


Рис.3 Розподіл по країнам Li-ion зберігання, 2008-2017



Рис.6 Зберігання Li-іон енергії по секторах 2008-2017

Рис. 7 та Таблиця 1 характеризують літій-іонні системи зберігання США за секторами. У середньому для комунальних систем потужність 9,9 МВт і тривалість 1,7 години. Тривалість масштабу корисності коливається від 0,5 до 4 годин між 10-м та 90-м процентилями. З цієї причини ми моделюємо чотири випадкові тривалості зберігання літій-іонів у масштабах корисного обладнання: 0,5, 1, 2 та 4 години. У короткому кінці спектру тривалості накопичувач в основному буде використовуватися для підтримання балансу в режимі реального часу між генерацією та навантаженням, а також плавних короткочасних коливань напруги та струму для частотної характеристики. Зрештою, накопичувач може відкласти оновлення передачі та розподілу, а також пом'якшити змінну енергію, викликану відновлюваною генерацією.

У цьому звіті ми зосереджуємось на системах зберігання утиліти. Попередній звіт зосереджувався на системах зберігання житла (Ardani et al. 2017). Для б випадку ми використовуємо 4-годинне зберігання згідно з «4-годинним правилом Каліфорнійської комісії з комунальних послуг», яке зараховує сховище, яке може працювати протягом 4 або більше годин

поспіл із можливістю забезпечення надійної пікової ємності (Denholm et al. 2017).

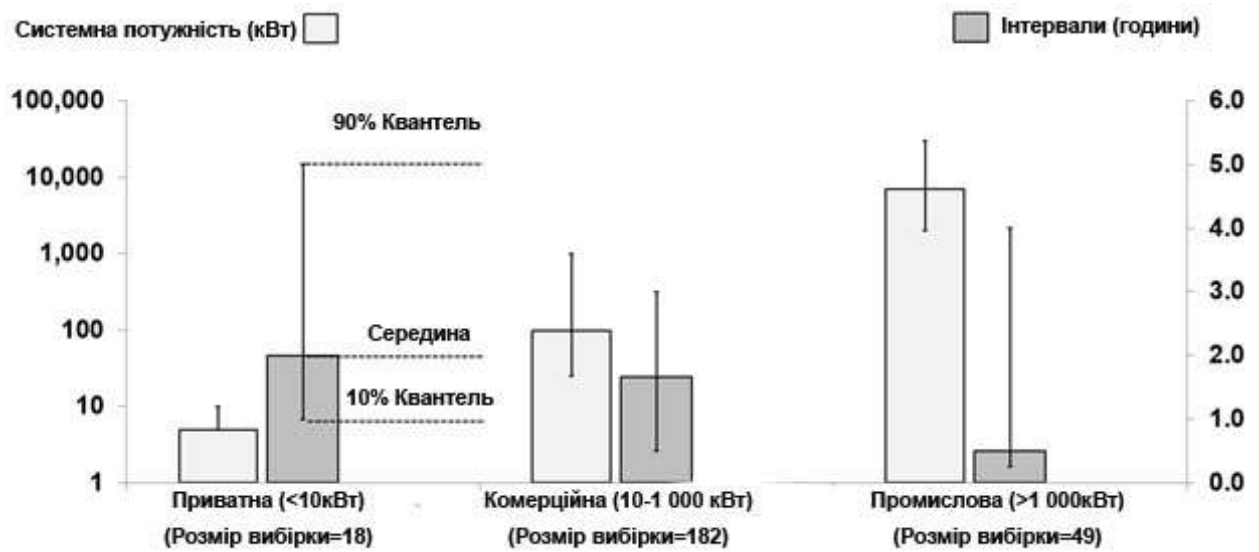


Рис.7 Розподіл збереженої Li-іон енергії за потужністю та інтервалами, по секторах 2008-2016

Таблиця 1

Сектор	Повна кількість проектів	Повна кВт	Повна кВт год	Середній інтервал (год)	Середній розподіл потужності (кВт)	Середній розподіл енергії (кВт год)
Приватна (< 10 кВт)	18	116	278	2.4	6	15
Комерційна (10–1,000 кВт)	182	49,161	101,183	2.1	270	556
Промислова (> 1,000 кВт)	49	494,764	844,418	1.7	9,934	17,233
Повна США	249	544,041	945,879	1.8	2,153	3,799

На рисунку 7 показана детальна структура витрат знизу вгору нашої окремої моделі зберігання, яка використовує аналогічну структуру до нашої розробленої раніше моделі витрат на ПВ (Fu et al. 2015, 2016, 2017). Загальні капітальні витрати на систему розбиваються на витрати на інжиніринг, закупівлю та будівництво (ІПК) та витрати на розробників. Не апаратурні або «м'які» витрати ЕРС визначаються ставками праці та продуктивністю праці. Ми адаптуємо інженерно-конструкторські та кошторисні моделі від RSMMeans

(2017) для визначення витрат на апаратні засоби ЕРС (включаючи стелажі на модулі / акумулятори, монтаж, електропроводку, контейнери та фундамент) та пов'язані з цим нестабільні витрати ЕРС (включаючи необхідні години праці та обладнання) у будь-якому місці США). У Розділі 4.1 представлена додаткова детальна інформація про самостійну модель зберігання Li-ion, а Розділ 4.2 показує результати комбінованої моделі зберігання PV-plus.



Рис.7 Модель структури зростання ціни автономних систем збереження

4.1 Модель вартості автономного зберігання літій-іонну

Для зменшення витрат на встановлення деякі виробники акумуляторів можуть поєднувати літій-іонні батареї, систему управління акумулятором та інвертор акумуляторів в одному компактному пристрої (Sonnen Batterie 2018) як акумулятор змінного струму. Однак у цьому звіті ми зосередимось на традиційних батареях постійного струму, як правило, налаштованих на чотири основні компоненти, показані на рисунку 8 та рисунку 9.

Акум.батареї→модулі→збірка→ст

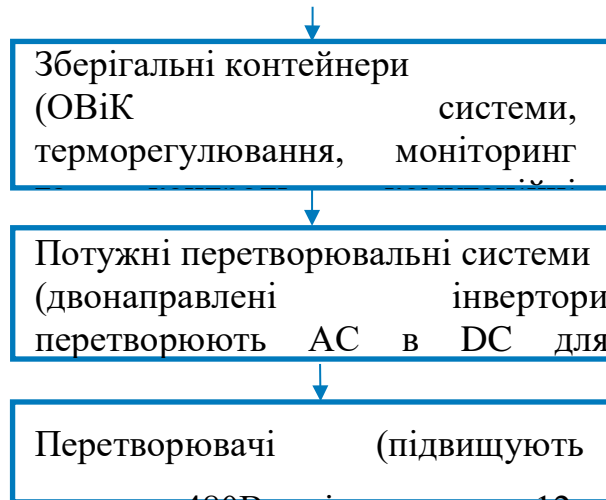


Рис.8 – Традиційні промислові компоненти енерго-зберігаючих літій-іонних батарей



Рис.9 – Компоненти систем батарей

У таблиці 2 наведено наші вхідні дані та припущення для такої корисної системи зберігання енергії. Ми визначили розмір батареї (60 MWDC) 6, використовуючи коефіцієнт завантаження інвертора (ILR) 1,3 та коефіцієнт розміру інвертора / накопичувача 1,67 на основі Denholm et al. (2017).

Компоненти моделі	Характеристики
Потужність батареї	60 МВт DC
Потужність батареї з контейнер	5 МВт год від 40-футового контейнера
Число контейнерів	48 (при інтервалі = 4 години)

Вартість Li-ion батареї	\$209/кВтгод
Інтервали	0.5–4 години
Ціна основної батареї інвертора	\$0.07/Вт
Потужність батареї інвертора	2.5 МВт
Число Інверторів	24
Ціна трансформатора (ТР)	\$28,000
Потужність ТР	2.5 MW підвищувальний трансформатор
Число ТР	24
Площа	76,800 футів квадратних
Прилади лабораторії	Непрофсоюзне обладнання середнього рівня за опитуванням (BLS 2018)
Податок від продажів	7.5%
ІПК витрати (% від вартості обладнання та лабораторії)	8.67% за обладнання та матеріали (крім ліній електропередачі); 23%–69% за вартість лабораторії: залежить від робіт
Витрати на розвиток	3% від коштів на ІПК
Придбання землі	\$250,000
Міжсистемний зв'язок	\$0.03/Вт
Допустимий	\$295,000 від системи
Не передбачені	3% від коштів на ІПК
ІПК/прибуток від розвитку	5% вартості від повної установки (ІПК+ кошти від розвитку)

Ми використовуємо ці входи для обчислення вартості накопичення енергії за допомогою наступного рівняння

$$\begin{aligned}
 & \text{Вартість встановлення накопичувача енергії} \left(\frac{\$}{\text{уВтгод}} \right) \\
 & = \text{Вартість батареї} \left(\frac{\$}{\text{уВтгод}} \right) \\
 & + \frac{\text{Вартість інших компонентів (лабораторія, інвертор)} (\$)}{\text{Потужність систем збереження (кВт) Інтервал (год.)} }
 \end{aligned}$$

На рисунку 10 та таблиці 3 показані отримані витрати на \$ / кВт / год для літій-іонних систем зберігання енергії потужністю 60 МВт, які змінюються від \$ 380 / кВт * год (тривалість 4 години) до \$ 895 / кВт * год (тривалість 0,5 години). Оскільки вартість акумуляторної батареї на енергію залишається

незмінною на рівні 209 дол. / кВт / год, загальна вартість батареї - і частка вартості, віднесеної до акумулятора - зменшуються, оскільки тривалість системи зменшується. Наприклад, вартість батареї становить 55% від загальної вартості системи в 4-годинній системі, але лише 23% в 0,5-годинній системі. У той же час, категорії, що не мають батареї, становлять зростаючу частку системних витрат, оскільки тривалість зменшується.

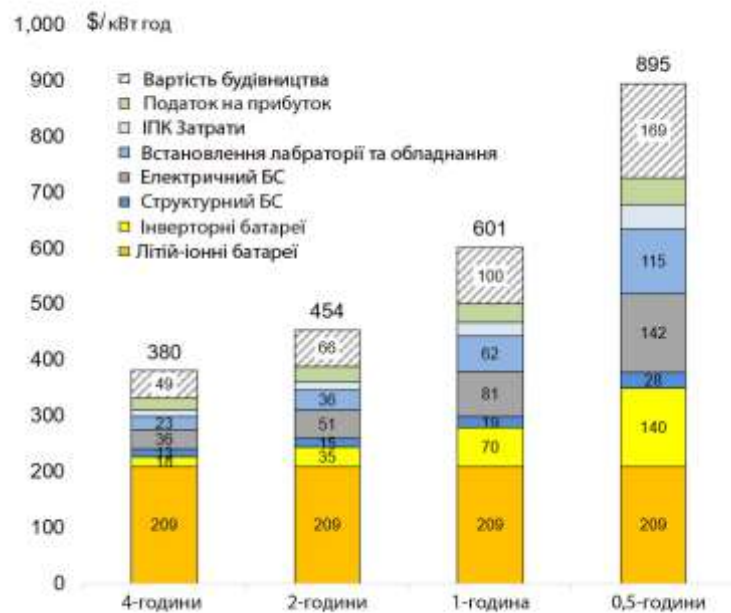


Рис.10 – Шкала вартості зберігання автономних літій-іонних батарей для інтервалів з 4-0,5 години

Компоненти моделі	60-МВт, 4-год. Інт, 240-МВт год			60-МВт, 2-год. Інт, 120-МВт год			60-МВт, 1-год. Інт, 60-МВтгод			60-МВт, 0,5-год. Інт, 30-МВтгод		
	Повна вартість (\$)	\$/кВтгод	\$/Вт	Повна вартість (\$)	\$/кВтгод	\$/Вт	Повна вартість (\$)	\$/кВтгод	\$/Вт	Повна вартість (\$)	\$/кВтгод	\$/Вт
Li-ion батарея	50,160,000	209	0.84	25,080,000	209	0.42	12,540,000	209	0.21	6,270,000	209	0.10
Батарея інвертора	4,200,000	18	0.07	4,200,000	35	0.07	4,200,000	70	0.07	4,200,000	140	0.07
Структкрний БС	3,121,131	13	0.05	1,813,452	15	0.03	1,159,612	19	0.02	832,692	28	0.01
Електричний БС	8,602,825	36	0.14	6,119,167	51	0.10	4,877,337	81	0.08	4,256,423	142	0.07
Востановлення лаб. і обл..	5,479,149	23	0.09	4,322,275	36	0.07	3,743,838	62	0.06	3,454,619	115	0.06
ІПК Витрати	2,775,545	12	0.05	1,948,565	16	0.03	1,535,075	26	0.03	1,328,330	44	0.02
Податок від продаж	5,293,460	22	0.09	3,083,292	26	0.05	1,978,209	33	0.03	1,425,667	48	0.02
Σ ІПК кошти	79,632,110	332	1.33	46,566,751	388	0.78	30,034,071	501	0.50	21,767,732	726	0.36
Купівля зкмлі	250,000	1	0.00	250,000	2	0.00	250,000	4	0.00	250,000	8	0.00
Збір за патент	295,289	1	0.00	295,289	2	0.00	295,289	5	0.00	295,289	10	0.00
Внутрішньо-мережеві виплати	1,802,363	8	0.03	1,802,363	15	0.03	1,802,363	30	0.03	1,802,363	60	0.03
Непередбачувані обставини	2,477,135	10	0.04	1,476,303	12	0.02	975,887	16	0.02	725,679	24	0.01
Витрати на розвиток	2,477,135	10	0.04	1,476,303	12	0.02	975,887	16	0.02	725,679	24	0.01
ІПК/Чистий прибуток від розвитку	4,346,702	18	0.07	2,593,350	22	0.04	1,716,675	29	0.03	1,278,337	43	0.02
Σ Кошти на розвиток	11,648,623	49	0.19	7,893,608	66	0.13	6,016,101	100	0.10	5,077,347	169	0.08
Σ Повна вартість систем зберігання	91,280,733	380	1.52	54,460,359	454	0.91	36,050,172	601	0.60	26,845,079	895	0.45

Таблиця 3 Детальний розподіл витрат для автономної системи зберігання потужністю 60 МВт США, тривалістю 0,5–4

ГОДИНИ

4.2 Модель вартості PV-генерації-зберігання системи

Тут ми поєднуємо нашу модель витрат на накопичення енергії з нашою моделлю витрат на систему ПВ в різних конфігураціях: 1) спільно розташовані системи зберігання PV-плюс порівняно з системами зберігання PV-плюс в різних місцях, і 2) DC-з'єднання в порівнянні з AC -компонентні конфігурації акумуляторів для сумісних систем зберігання PV-plus. Як показано в таблиці 4, спільне розташування дозволяє обмінюватися декількома апаратними компонентами між фотовольтами та системами зберігання енергії, що може зменшити витрати. Місце розташування може також зменшити невеликі витрати, пов'язані з підготовкою ділянки, придбанням земельної ділянки, роботою з монтажу, дозволом, взаємозв'язком та накладними витратами на ЕРС / розробника.

Таблиця 4. Фактори витрат для розміщення ПВ та зберігання разом та окремо (NREL 2018, Blattner Energy 2018, Ardani та ін., 2017)

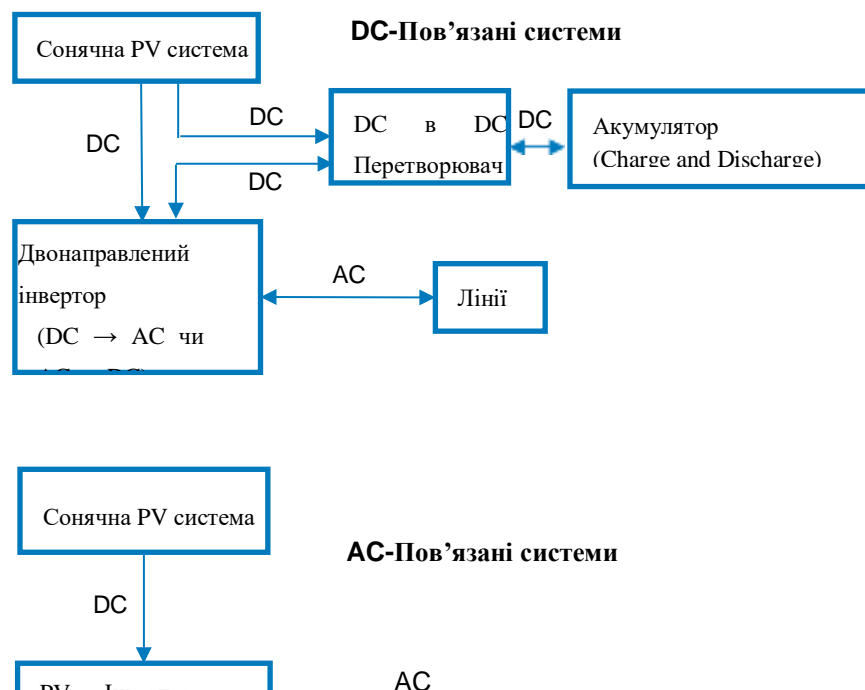
Компоненти моделі	Сумісна накопичення	PV-генерація-PV-генерація-накопичення в різних місцях
Підготовка сайтк	Один раз	Двічі
Вартість придбання землі	Нижча	Вища
Обмін обл. PV та накопичувачем енергії	Так(Підвищ. ТР, контролери та РП), монітор,	Ні
Вартість встановлення лаб.	Нижча (завдяки апаратному обміну та разовій мобілізації праці)	Вища
ІПК/Витрати та заробіток від розвитку	Lower (менша вартість праці та повна вартість системи)	Вища
Міжсистемний зв'язок і дозвола	Один раз	Двічі

Коли фотокамера та акумуляторні батареї розміщені разом, підсистеми можуть бути підключені за допомогою конфігурації, пов'язаної з постійним струмом або змінного струму (рис. 11). Системі, пов'язаній з постійним струмом, потрібен лише один двонаправлений інвертор, підключає акумулятор безпосередньо до PV-масиву і дозволяє акумулятору заряджатись

та розряджатися з мережі. З іншого боку, система, пов'язана з змінного струму, потребує як перетворювача ПВ, так і двонаправленого інвертора, і для заряджання або розряджання акумулятора існує кілька етапів перетворення між постійним і змінного струму. Також лінія електропередачі може бути використана як для систем ПВ, так і для акумуляторів.

До переваг системи, пов'язаної з постійним струмом, належать:

1. Система, пов'язана з постійним струмом, використовує лише один двосторонній інвертор (табл. 5), таким чином зменшуючи витрати на інвертор, інверторну проводку та корпус інвертора.
2. Через додаткову конверсію між постійним струмом і змінного струму система, пов'язана з змінного струму, може мати нижчу ефективність для заряджання акумулятора порівняно з системою, пов'язаною з постійним струмом, яка заряджає акумулятор безпосередньо. Однак, оскільки силова електроніка стає все ефективнішою, фактична різниця в ефективності стає меншою (Enphase 2018).
3. Оскільки батарея підключена безпосередньо до сонячного масиву, надлишок генерації ПВ, який інакше був би затиснутий системою, пов'язаною з змінного струму на рівні інвертора, може бути направлений безпосередньо до акумулятора, що може покращити економіку системи (DiOrio 2018).



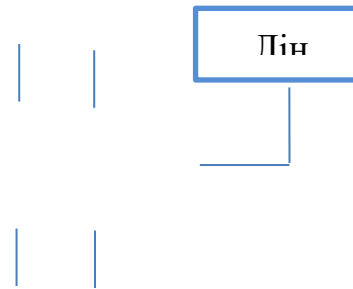


Рис.11 Конфігурації системи ПВ-плюс-накопичувачі, пов'язані з постійним струмом і змінного струму

Таблиця 5. Порівняння з'єднання постійного струму та змінного струму для систем зберігання PV-Plus

Компоненти моделі	DC-зв'язана конфігурація	AC- зв'язана конфігурація
Кількість інверторів	1 (двонаправлений інвертор для акумулятора)	2(двонаправлений плюс інвертор пов'язаний по призвольть до інвертора проволки та корпус інвертора)
Розміри стійки батареї	Менша (адже акумулятор підключено до ПВ) потрібна вентиляція та кондиціонування та системи гасіння пожежі	Більша
Структурний БС	Більший (менший розмір стійки батареї)	Менший
Електричний БС	Менший (потребує додаткового DC-в-DC перетворювача)	Більший (додаткова проводка)
Вартість встановлення лабораторії	Більша (менший розмір стійки Більша кваліфікація працівників та трудові Години для роботи при DC струмі)	Менша
ІПК витрати	Більша (вища вартість монтажних робіт)	Менша
Податок з продаж	Менший	Більший (більші витрати на обладнання)
ІПК/прибуток розробника	Менший	більший (більші робочі витрати)

До переваг системи змінного струму відносяться наступні:

1. Оскільки акумуляторні стійки безпосередньо не підключені до системи PV в системах, пов'язаних з змінами, ці системи можуть використовувати більші стелажі акумуляторів і, таким чином, зменшувати кількість систем опалення та вентиляції в контейнерах. Ця особливість також зменшує витрати на встановлення праці в порівнянні з системами, пов'язаними з постійним струмом.
2. Для доопрацювання (тобто додавання накопичувача батареї до наявного фотомагнітного масиву) акумулятор, пов'язаний з змінного струму, може бути більш практичним, ніж акумулятор, пов'язаний з постійним струмом, оскільки системи, пов'язані з постійним струмом, вимагають, щоб інсталювати замінили існуючий перетворювач ПВ на двонаправлений інвертор. Таким чином, додаткові витрати, пов'язані із заміною інвертора та електропроводкою системи, можуть підвищити витрати на модернізацію для системи, пов'язаної з постійним струмом, порівняно з системою, пов'язаною з змінного струму (Ardani et al., 2017). Крім того,

системи, пов'язані з змінного струму, дають можливість модернізувати фотографію та акумулятор окремо, оскільки ці системи не залежать одна від одної.

3. Оскільки системи, пов'язані з змінного струму, розділили системи ПВ та акумулятора, інсталювати мають більшу гнучкість для регулювання місця розташування акумулятора. Наприклад, системи, пов'язані з постійним струмом, вимагають, щоб батареї були встановлені поруч з двонаправленим інвертором, і виникла потреба в обслуговуючих екіпажах для входу в поле PV може зробити технічне обслуговування більш трудомістким. Оскільки системи, пов'язані з змінного струму, можуть мати батареї, розташовані поза полем PV, роботи з обслуговування можуть бути швидшими та простішими.

5 Результати моделі та висновки

На малюнку 11 підсумовані результати нашої моделі для декількох типів та конфігурацій системи:

Автономна PV-система потужністю 100 МВт з одновісним відстеженням (111 мільйонів доларів)

- Автономна 60-МВт / 240-МВт-год, 4-годинна система зберігання енергії (91 млн. Дол. США)
- Сумісна система спільного постійного струму (100 МВт) плюс зберігання (60 МВт / 240 МВт • год, тривалість 4 години) (186 мільйонів доларів)
- Сумісна система спільного струму (100 МВт) плюс зберігання (60 МВт / 240 МВт • год, тривалість 4 години) (188 мільйонів доларів)
- PV (100 МВт) плюс (зберігання) (60 МВт / 240 МВт • год, тривалість 4 години) з ПВ і компонентами для зберігання, розміщеними в різних місцях (202 мільйони доларів)

У таблиці 6 наведено докладні витрати на три конфігурації накопичувача PV-plus. Розміщення підсистеми ПВ та зберігання забезпечує економію витрат за рахунок зменшення витрат, пов'язаних з підготовкою ділянки, придбанням

земельної ділянки, дозволом, взаємозв'язком, роботою з монтажу, обладнання (за допомогою спільного використання апаратних засобів, таких як розподільні пристрої, трансформатори та управління), накладних витрат та отримання прибутку. Вартість спільно розташованої системи, пов'язаної з постійним струмом, на 8% нижча, ніж вартість системи з ПВ та сховищем, розміщених окремо, а вартість спільно розташованої системи, пов'язаної з змінного струму, на 7% нижча.

Використання муфти постійного струму, а не з'єднання змінного струму призводить до зниження на 1% загальної вартості, що є чистим результатом різниці витрат між муфтою постійного та змінного струму в категоріях сонячного інвертора, структурного БОС, електричного БОС, праці, ЕРС і накладні витрати, податок на продаж, надзвичайні ситуації та прибуток. Однак для реального проекту економія витрат може бути не єдиним фактором вибору з'єднання постійного струму чи змінного струму. Слід враховувати додаткові фактори, такі як міркування щодо модернізації, продуктивність системи (включаючи втрати енергії внаслідок відсікання), гнучкість проектування, а також експлуатацію та обслуговування.

Підводячи підсумок, новою моделлю собівартості знизу вгору Національної лабораторії з відновлювальної енергетики можна використовувати для оцінки витрат на корисні системи PV-plus-накопичувача з використанням різних конфігурацій. Економія деталізованих витрат може стимулювати розгортання спільно розташованих систем зберігання PV-plus. Крім того, модель може допомогти представникам галузі оцінити вплив витрат на різні тривалість роботи акумулятора для сіткових додатків. Нарешті, модель може бути використана для оцінки майбутніх потенційних можливостей скорочення витрат для систем зберігання PV-plus, допомагаючи керувати дослідженнями та розробками, спрямованими на просування ефективних конфігурацій системи. В майбутньому ми продовжуватимемо оновлення моделей та розширити нашу модель, щоб охопити більше економічних показників,

наприклад, LCOS (узаконені витрати на зберігання).

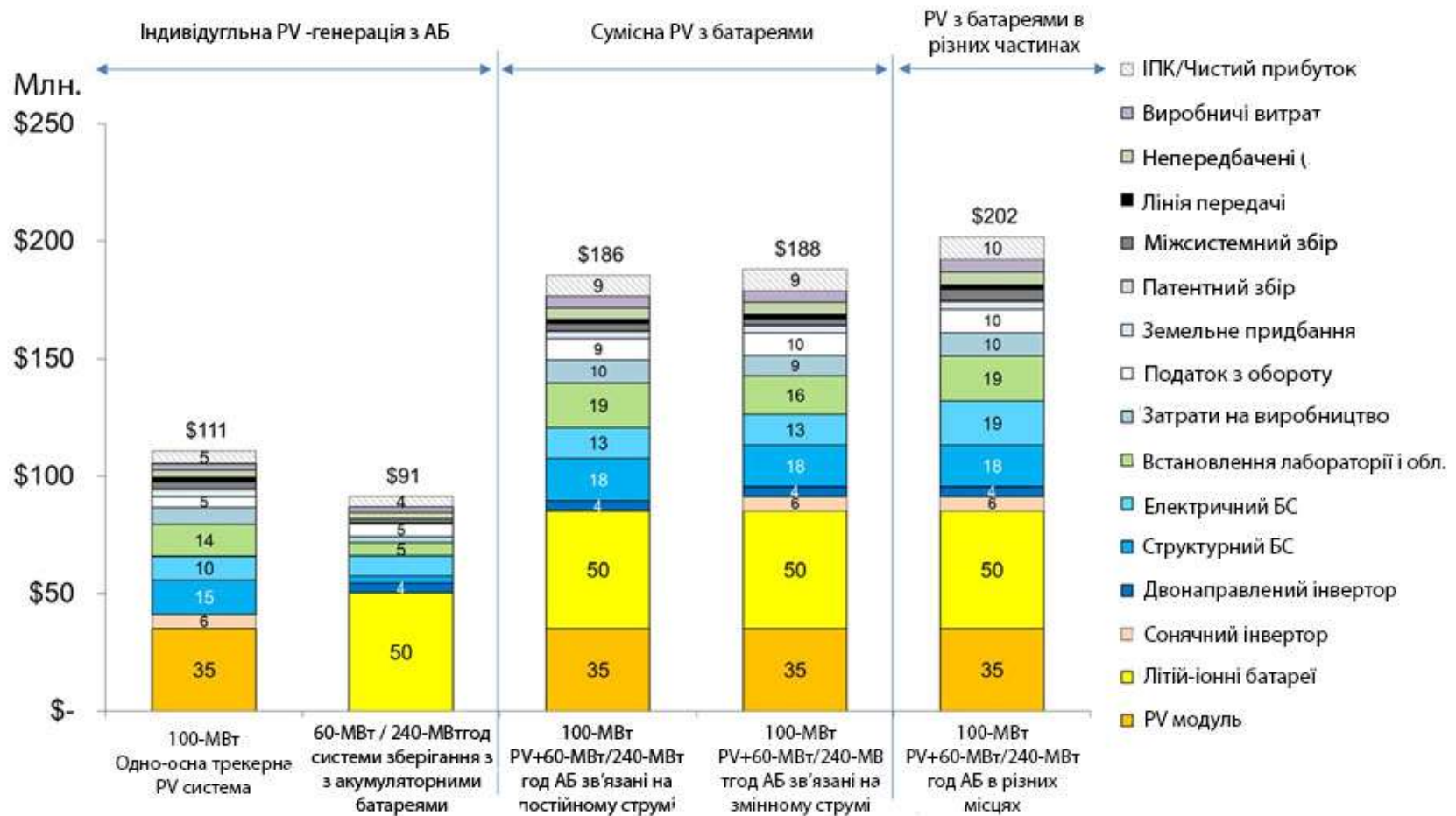


Рис.11-Орієнтовні показники вартості 2018 року для систем зберігання PV-плюс (тривалість 4 години) на різних сайтах і на одному і тому ж сайті (випадки, пов'язані з постійним струмом і АС-з'єднання)

Таблиця 6 Детальний розподіл витрат для лінійно-іонних систем накопичення PV-генерація і накопиченням

Компоненти моделі	Повні витрати		
	100-МВт PV + 60-МВт/240-МВтгод Батареї DC-зв'язані, сумісні	100-МВт PV + 60-МУт/240-МВтгод Батареї AC-зв'язані, сумісні	100-МВт PV + 60-МУт/240-МВтгод Батареї в різних місяця
PV модуль	\$35,000,000	\$35,000,000	\$35,000,000
Li-ion батарея	\$50,160,000	\$50,160,000	\$50,160,000
Сонячний інвертор	n/a	\$6,153,846	\$6,153,846
Дво-напралений інвертор	\$4,200,000	\$4,200,000	\$4,200,000
Структурний БС	\$18,346,829	\$17,685,150	\$17,735,564
Електричний БС	\$12,987,780	\$13,115,425	\$18,649,611
Лабораторія та обл..	\$18,863,868.05	\$16,326,680.01	\$19,058,910
ІПК витрати	\$9,879,642	\$8,550,831	\$9,981,792
Податок від продаж	\$9,178,323	\$9,605,687	\$10,030,372
Σ ІПК витрати	\$158,616,442	\$160,797,619	\$170,970,095
Купівля землі	\$3,000,000	\$3,000,000	\$3,250,000
Збір за патент	\$295,289	\$295,289	\$590,578
Міжсистемні збори	\$2,919,545	\$2,919,545	\$4,721,908
Лінії передачі	\$1,883,302	\$1,883,302	\$1,883,302
Непередбачувані обст.	\$5,001,437	\$5,066,873	\$5,455,816
Затрати на розвиток	\$5,001,437	\$5,066,873	\$5,455,816
ІПК/Прибуток розробника	\$8,835,873	\$8,951,475	\$9,616,376
Σ Витрати на розвиток	\$26,936,884	\$27,183,357	\$30,973,796
Σ Повна вартість енергос зберігаючих систем	\$185,553,326	\$187,980,975	\$201,943,890

Метою цього дослідження є визначення існуючих моделей оцінки витрат системи енергозберігаючих батарей (СЕЗББ) як за лічильником, так і перед застосуванням лічильника. Дослідження, з наявної літератури, проаналізує та спроєктує майбутні витрати СЕЗБ. У дослідженні представлені середні значення показників ранжеровані вартості зберігання (РВЗ) на основі декількох існуючих оцінок витрат та ринкових даних щодо зберігання енергії щодо трьох різних акумуляторних технологій: літій-іон, свинцево-кислотна та витрата ванадію. Ці значення покликані слугувати орієнтирами для витрат СЕЗБ сьогодні. Результати показують, що для

застосування перед вимірювальним приладом ПВП для літій-іонного акумулятора становить 30 дол. Для позаду лічильників застосування РВЗ для літій-іонного акумулятора становить 43 дол. США / кВт.год. Та 41 дол. Аналіз чутливості проводиться на РВЗ з метою виявлення ключових факторів розвитку витрат акумуляторної батареї. Середні значення та результати аналізу чутливості в поєднанні з даними щодо майбутніх витрат на зберігання акумуляторів потім використовуються для проектування РВЗ на 2030 рік. Результати аналізу чутливості показують, що капіталовкладення, цикли та ставка дисконтування мають найбільші вплив на формулу ПВП. Прогноз, проведений у цьому дослідженні, вказує на те, що ПВП значно знизиться до 2030 року. Результати показують, що для використання в лічильникових батареях РВЗ для літій-іонного акумулятора знизиться на 60% і 68% для батареї з витратою ванадію. Для позаду лічильників застосування РВЗ для літій-іонного акумулятора знизиться на 60% та 49% для свинцево-кислотної батареї.

Щоб усунути дорогі та небезпечні наслідки зміни клімату, викиди парникових газів повинні досягти свого піку найближчим часом (Ralon та ін., 2017). Після конференції Організації Об'єднаних Націй щодо зміни клімату в Парижі 2015 року енергетичний сектор продовжував перехід від викопного палива до поновлюваних джерел енергії. Це призвело до збільшення попиту на зберігання енергії. Чим краще енергетичний сектор може зберігати енергію, тим менш залежним стає світ від викопних видів палива, що, в свою чергу, призведе до декарбонізації. Якщо накопичення енергії було б неможливим, виробництво енергії повинно було дорівнювати споживання енергії. Тому накопичення енергії можна розглядати як рухливу енергію через час (SANDIA, 2013). Сьогоднішні сучасні суспільства не існували б, якби не накопичення енергії у найдавнішому вигляді: батареї. Сьогодні це не лише акумулятори, які накопичують енергію, насправді це лише невелика частка розгорнутих технологій зберігання даних (Ralon, et al., 2017). Основна

технологія зберігання - це насосне гідро. Інші технології - це накопичення стисненого повітря та теплового зберігання.

Зберігання енергії також може сприяти більш ефективному та надійному ринку енергії різними способами, наприклад регулювання частоти, арбітраж енергії, підтримка чорного пуску та напруги. Зберігання енергії також виділяється як зміна ігор для вирішення поточних проблем, пов'язаних з проблемами з нестабільністю для вітрових і сонячних прикладів (Всесвітня рада з енергетики, 2016). Зростання застосування накопичувача енергії залежить від кількох фундаментальних факторів, таких як національні енергоресурси, регуляторна база, загальна архітектура сітки та моделі попиту на енергію (Eller & Gauntlett, 2017). Сьогодні прогресивна технологія зберігання енергії все ще дорога у впровадженні. Тому передові інвестиції часто повинні виникати завдяки урядовій підтримці чи низькому фінансуванню, незважаючи на швидке зменшення витрат (Eller & Gauntlett, 2017).

1.1 Мета дослідження

Оскільки енергетичний сектор продовжує переходити на відновлювані джерела енергії, попит на акумуляторну енергію збільшується. Однак різноманітні технології та програми для накопичення енергії акумулятора роблять оцінки витрат відносно складними. На відміну від виробництва електроенергії, в якій є єдиний випадок використання електроенергії, у накопичувача енергії немає стандартизованої метрики для оцінки витрат. Для зберігання енергії потрібні компоненти, пов'язані зі зберіганням, зарядженням та розрядом електроенергії, що означає, що система характеризується як енергетичною ємністю (Втгод), так і своєю потужністю (Вт). Таким чином, вартість системи дуже сильно визначається її застосуванням та цільовим призначенням.

Мета цього дослідження - виявити та порівняти з наявної літератури існуючі моделі витрат для системи енергозберігаючих батарей (СЕЗБ).

Дослідження буде зосереджено на трьох різних акумуляторних технологіях: літій-іонні, свинцево-кислотні та ванадієві. Дослідження також, з наявної літератури, проаналізує та спроектує майбутні витрати на СЕЗБ.

Ціль дослідження

- Сформувати компіляцію, яка може послужити першою прочитаною літературою для тих, хто хоче ознайомитись з СЕЗБ та бажає зрозуміти основи існуючих моделей витрат.
- Представити середні значення на РВЗ для трьох технологій акумуляторів на основі декількох існуючих моделей витрат та ринкових даних, які можуть слугувати орієнтирами для зацікавлених сторін.
- визначте основні драйвери для розвитку витрат СЕЗБ.
- Представити загальну перспективу траєкторії ринку СЕЗБ.

1.2 Метод

Це дослідження спочатку проведе огляд літератури щодо попередньої роботи щодо вартісних моделей накопичення енергії акумулятора. Огляд літератури та технічне підґрунтя мають на меті орієнтуватися на аналіз з точки зору того, щоб зрозуміти, як оцінити витрати СЕЗБ..

На основі результатів огляду літератури будуть проведені оцінки витрат BESS. Дослідження буде застосовувати модель узаконених витрат на зберігання (LCOS), яка є версією моделі LCOE. Технічні деталі моделі та припущення, що обґрунтовують аналіз, представлені та пояснені у розділі 4. Застосовувана формула представлена в її повній версії у розділі 3, див. Рівняння 1.3.

Структура дослідження може бути зведена до наступних етапів:

1. Надання огляду літератури та теоретичну основу енергозберігаючих акумуляторів та існуючі моделі витрат.
2. Збирання даних про різні СЕЗБ, джерел щодо теперішніх та майбутніх витрат.
3. Обчислення (РВЗ) вартості зберігання для всіх джерел та проаналізованих технологій, використовуючи ту саму формулу.

4. Порівняння відповідних РВЗ за витратами, входними параметрами та припущеннями.
5. Обчислення середнього значення РВЗ для всіх трьох технологій акумулятора.
6. Аналіз чутливості за формулою РВЗ
7. Використовуючи інформацію та дані що до майбутніх витрат, проектування LCOS на 2030 рік.

2 Технічні основи та модель витрат

Цей розділ включає презентацію доступних технологій накопичення енергії, застосувань акумуляторної енергії та моделей витрат. Цей фон знань служить для інформування про те, що можна очікувати для подальшого розвитку накопичувача енергії акумулятора, а також накопичення енергії в цілому.

2.1 Наявні технології для зберігання енергії

Насосне гідроакумулювання (НГА) займає найбільшу частку від загальної встановленої місткості. Це близько 169 ГВт, що становить 96% від загальної встановленої потужності. Насосне гідро - це технологія механічного зберігання, яка перекачує воду у верхній резервуар з висотою відстані від нижнього резервуару. Якщо необхідне живлення, гравітація буде рухати воду вниз по трубі та турбіні, що створює електроенергію в електромережу (Ralon et al., 2017).

Зберігання енергії стисненого повітря (ЗСП) - це також технологія механічного зберігання, яка становить 0,9% від загальної встановленої потужності, що становить 1,6 ГВт. ЗСП схожий на НГА з точки зору застосування та накопичувальної здатності (Energy Storage Association, 2018). Повітря зберігається під землею в печері та під тиском. Коли потрібна електрика, запасється повітря розширюється в турбіні розширення, яка приводить генератор у виробництво енергії. Станом на 2017 рік у світі було лише два оперативно-масштабні заводи ЗСП. Один знаходиться в Алабамі, США, а другий - у Ханторфі, Німеччина (Cárdenas, et al., 2017).

Зберігання теплової енергії має встановлену потужність 3,3 ГВт, що становить 1,9% від загальної встановленої потужності у світі. Енергія зберігається в трьох різних формах: чутливе тепло, приховане тепло і термохімічне тепло (Energy Storage Association, 2018). Коротше кажучи, енергія зберігається за рахунок зміни температури накопичувального середовища. Вода, як правило, є найпоширенішим середовищем зберігання.

Зберігання енергії акумулятора має глобальну потужність 1,9 ГВт, що становить 1,1% від загальної встановленої потужності. Розвиток акумуляторної батареї має ряд цінних можливостей. Наприклад, вона не залежить від конкретних географічних особливостей і не має таких самих екологічних проблем, як, наприклад, НГА та ЗСП. Крім того, він не має настільки високих початкових інвестиційних витрат або тривалий період будівництва, як НГА та ЗСП (Ralon et al., 2017).

Коротше кажучи, акумулятор складається з трьох частин: анода, катода та електроліту. Анод і катод з'єднані по ланцюгу і розділені електролітом. Хімічні реакції в акумуляторі призводять до накопичення електронів на аноді, що призводить до електричної різниці між анодом і катодом. Електрони хочуть вирівняти цю різницю, через що електрони рухаються від анода до катода. Електроліт перешкоджає руху електронів всередині акумулятора і змушує їх рухатися по ланцюгу, що створює електрику. Під час зарядки акумулятора потік електронів змінюється за допомогою іншого джерела живлення і тому відновлює початковий стан анода та катода (Bates, 2012). Заряджаючи акумулятор для накопичення енергії, потужність, наприклад, може надходити від сонячних батарей.

Доступний широкий спектр різних технологій акумуляторів. Цей звіт буде зосереджений на літій-іонних, свинцево-кислотних та ванадієвих акумуляторах. СЕЗБ тут стане основною темою у цьому звіті.

2.2 Застосування систем енергозберігаючих батарей

Існує багато потенційних застосувань для технології акумуляції енергії акумулятора. П'ять найбільш ідентифікованих та розповсюджених - це заміна пікерів, дистрибуція, мікросетка, комерційна та житлова.

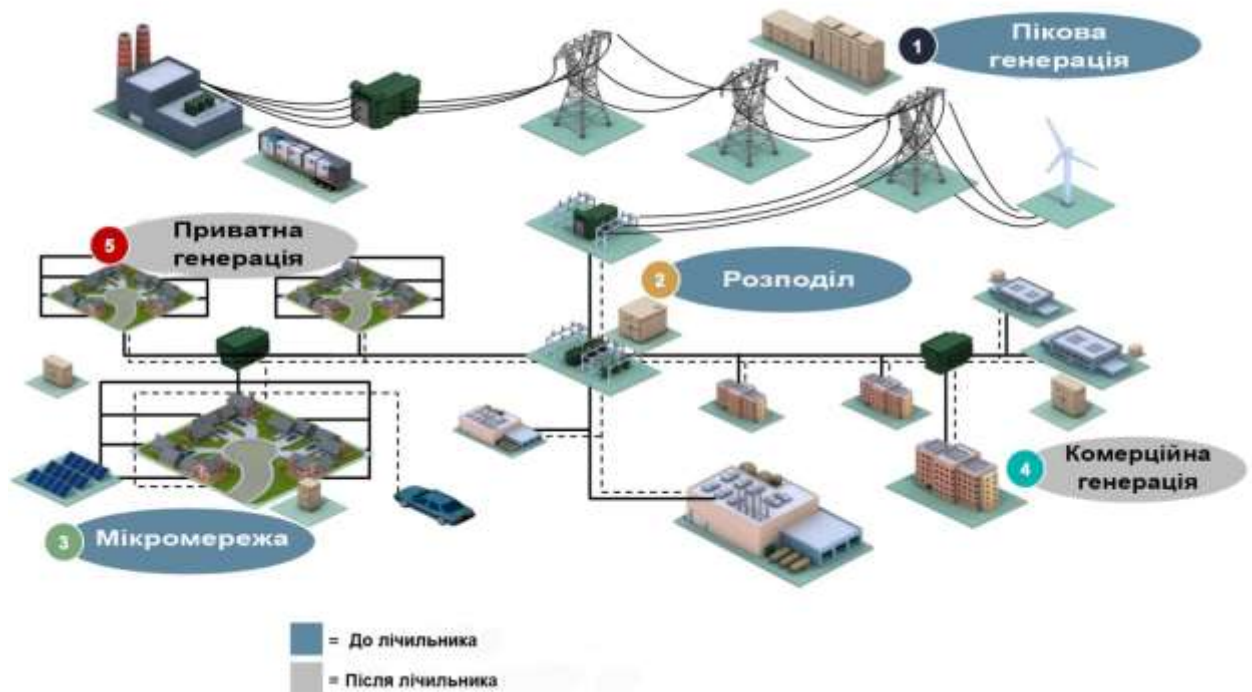


Рис.1 Схема застосування систем контролю ДЛ та ПД

Ресурси можна розділити на дві підгрупи: Перед додатками лічильника та поза програмами лічильника, як показано на малюнку 1. Різниця між ними полягає в тому, як або де використовується система зберігання даних. Для перед застосуванням лічильника розмір системи порівняно більший; вона може варіювати від 4 до 400 МВт · год. За межами лічильників додатки, як правило, коливаються від 0,01 до 0,25 МВт · год потужності (Lazard, 2017).

Чотири найпоширенішими випадками використання цих програм є:

- *Регулювання частоти*; Основна мета - підтримка стабільності та точності системи.
- *Енергетичний арбітраж*; енергія зберігається, коли ціна на електроенергію низька, і використовується або продається, коли ціни високі.
- *Чорний старт*; коли мережа відключається, накопичувач енергії може бути використаний для відновлення енергосистеми, не витягуючи електроенергію з мережі.

- *Підтримка напруги*; це означає підтримку необхідного рівня напруги в електромережі та її стійкість.

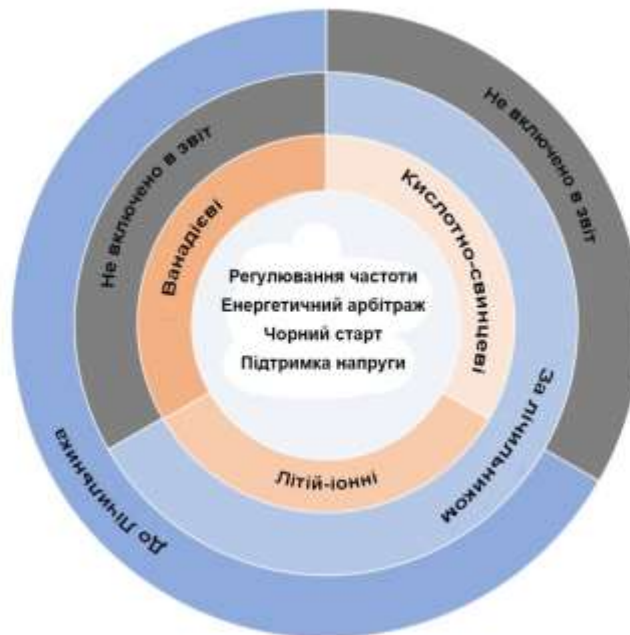


Рис.2 Проаналізовані технології та цілі використання

Як показано на рис.2, технології акумуляторів, які будуть проаналізовані за застосуванням лічильника, - це літій-іонна та свинцево-кислотна. Для перед застосуванням лічильника буде проаналізовано витрата літій-іона та ванадію.

2.3 Вартісна модель

Порівнюючи витрати на накопичення енергії акумулятора, важливо розрізняти енергію та потужність потужності системи (Mayr & Beushausen, 2016). Кількість енергії, яка може бути збережена, - це енергетична ємність системи, а швидкість руху енергії, яка надходить у систему та виходить із неї, - потужність потужності системи. Потужність можна виміряти у ватах (Вт), а енергію можна виміряти у ват-годинах (Вт). Це означає що при оцінці витрат у перерахунку на USD / кВт, вартість базується на потужності системи. Наприклад, передбачається, що система зберігання, призначена для житлового використання, вимагає розміру 5 кВт / 10 кВт-год. Якщо вартість

системи становить 2000 доларів США, витрати на основі енергетичної та енергетичної потужності стають:

- $USD2000/5кВт = 400 USD/кВт$
- $USD2000/10кВтгод = 200 USD/кВтгод$

Якщо система буде змінена на розмір 10 кВт / 10 кВт * год з однаковими загальними витратами, на енерговитрати на вартість не вплине, в той час як вартість в перерахунку на потужність потужності вдвічі зменшиться. Тому розмір системи та конкретний випадок використання важливо пам'ятати при оцінці та порівнянні витрат на накопичення енергії (Maug & Veushausen, 2016).

Порівнюючи витрати на різні технології виробництва енергії, такі як енергія вітру та сонячної енергії, узаконені витрати електроенергії (LCOE) є найбільш часто використовуваною метрикою (Belderbos et al., 2017). Формулу LCOE можна визначити як «фіктивну стабільну ціну електроенергії, необхідну для того, щоб теперішня вартість суми всіх витрат і всіх доходів за весь термін експлуатації агрегату дорівнювала нулю» (Belderbos, et al., 2017). Для зберігання енергії не вистачає такої загальноприйнятої метрики для обчислення витрат, яка ускладнює оцінку витрат на різні рішення для зберігання (Maug & Veushausen, 2016). Намагаючись вирішити цю проблему, було введено версію LCOE, яка називається (PB3) Ранжування вартості зберігання (Maug & Veushausen, 2016). Формулу можна обчислити так:

$$LCOS = \frac{CAPEX + O\&M \sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+r)^n} - \frac{v_{res}}{(1+r)^{N+1}}}{cDoDRC \sum_{n=1}^N \frac{1 - DEGn}{(1+r)^p}} + \frac{p_{elec}}{\eta}$$

Де

CAPEX – капітальні витрати

O&M – кошти на експлуатації та обслуговування

DoD – глибина розряду

c – кількість циклів за рік

DEG – розрахункова потужність

N – час життя системи

r – облікова ставка

P_{elec} – вартість зарядки

η – ефективність двосторонньої передачі сигналу

v_{res} – кінцева вартість

Тоді РВЗ можна було б визначити як «фіктивну середню ціну електроенергії під час вивантаження, необхідну протягом всього терміну експлуатації сховища, щоб звести навіть повні витрати для інвестора» (Belderbos et al., 2017). Глибина розряду (DoD) - це кількість енергії, яка розрядилася відносно загальної енергетичної ємності акумулятора. Якщо акумулятор розряджає 30% його загальної енергетичної ємності і 70% не використовується, батарея має 30% DoD. Це важливо при розрахунку витрат, оскільки очікуваний термін експлуатації батареї коротший, якщо акумулятор циклічно працює при глибокому розряді (Kempeneg & Borden, 2015). Вартість зарядки - це вартість, за яку купується електроенергія для зберігання. Значення цього параметра змінюється в залежності від ціни електроенергії в конкретному місці розташування системи. У деяких випадках він встановлюється в нуль. Якщо запам'ятовуючий пристрій повинен бути поєднаний з джерелом вироблення енергії, то РВЗ цього джерела становитиме витрати на зарядку у формулі РВЗ. Ставка дисконтування - середньозважена вартість капіталу (WACC), яка включає бажану норму прибутку та сплату відсотків за борг.

3 Огляд літератури

У звіті від 2016 року Apricum - Cleantech Advisory розглядає складність порівняння витрат на зберігання енергії у своїй статті «Навігація по лабіринту накопичення енергії» (Maug & Veushausen, 2016). Через безліч

різних технологій та застосувань для зберігання енергії порівняння витрат є актуальним лише для загального та чітко визначеного випадку використання. Наприклад, застосування вимірювання ДЛ може зажадати більшої експлуатації та обслуговування, а не вимірювання ЗЛ, що впливає на вартість. Звіт також включає РВЗ-аналіз як житлової системи зберігання, так і комунальної системи зберігання в Німеччині.

Літій-іонний акумулятор використовується в обох випадках із строком життя 15 років, 250 циклів на рік при 100% ГР для ДЛ- та 350 циклів на рік при 80% ГР для програми ДЛ. Модель Arpicum оцінює експлуатаційні витрати та залишкове значення нульових для програми ЗЛ. Для додатка експлуатаційні витрати становлять 2% від капітальних, а залишкове значення - 20% від капітальних.

Таблиця 1 Вихідні дані Arpicum's та результат РВЗ

Технологія	Час життя	Пов. вит	Витрати	Вартість заряду [USD/kWh]	СЗВ К [%]	Ефективність	РВЗ [USD/kWh]
Li-ion	15	500	10	0.06	10	92	0.35
Li-ion	15	1000	0	0.12	3	70	0.53

Як видно з таблиці 1, ставка дисконтування відрізняється для ВТМ та ІТМ. Структура капіталу моделі передбачається 100% власного капіталу зі ставкою дисконтування 3% для житлового використання. Для використання комунальних послуг структура капіталу - це 50% власного капіталу з 12% вартості власного капіталу та 12% боргу з 8% вартості боргу, що призводить до облікової ставки 10% для програми ІТМ. Номінальна потужність для ІТМ становить 6 МВт · год.

Верена Юлч склала вичерпний звіт під назвою «Порівняння варіантів зберігання електроенергії з використанням нівельованої вартості зберігання» (Jülch, 2016). Автор застосував LCOS на чотирьох різних групах технологій зберігання, а саме: енергія на газ, PHS, CAES та акумулятор. Jülch використовував ринкові дані та, коли це можливо, дані аналізу витрат. Припущення щодо витрат на акумуляторні технології базуються на досвіді Fraunhofer ISE в різних проектах.

Таблиця 2 Вихідні дані Jülch's та результат РВЗ

Техноло	Час життя	Пов.вит	Витрат	Вартість заряду[U SD/кВтго	СЗВ К [%]	Ефективність	РВЗ [USD/кВтго
Li-ion	20	660-1050	13-21	0	8	95	0.23-0.37
Li-ion	20	930-1040	19-21	0	8	80	0.32-0.36

Проаналізована номінальна потужність встановлена в 100 МВт як для літій-іонного, так і для VFB, при співвідношенні E2P 4. Як показано в таблиці 2, ставка дисконтування встановлюється на 8% для всіх технологій. Операційна вартість встановлюється в розмірі 2% від капексу, як для літій-іонного, так і для VFB. Витрати аналізуються за циклами 365 на рік, а доД 80% для літій-іона та 100% для VFB. Вхід вартості електроенергії встановлюється на нуль.

Фінансово-консультативна фірма з управління активами, Lazard, склала серію звітів, в яких аналізувала вартість та дохід різних технологій зберігання енергії (Lazard, 2015; Lazard, 2016; Lazard, 2017). В їх останньому звіті передбачений аналіз витрат на зберігання різних випадків використання як для ITM, так і для програм BTM (Lazard, 2017). Уперше опублікував цей звіт у 2015 році. Він проводиться 70 інтерв'ю і включає тенденції витрат, потоки доходів та економіку проектів для кожного випадку використання на ринку: заміна пікерів, дистрибуція, мікросетка, комерційна та житлова. Дані про Лазарда отримують із даних оперативного огляду та цін на виробництві,

які перевірені учасниками галузі. Проаналізована номінальна потужність / потужність між 5 кВт / 10 кВт-год - 125 кВт / 250 кВт / год для БТМ та 1 МВт / 4МВт-100МВт / 400МВт-год для ІТМ.

Таблиця 3 Вихідні дані Lazard та результат РВЗ для ПЛ

Техноло	Час життя	Пов.вит	Витрат	Вартість заряду[U SD/кВтго	СЗВ К [%]	Ефективність	РВЗ [USD/кВтг
Li-ion	10	804-1289	0	0.11-0.12	11.2	85	0.89-1.27
Li-ion	10	556-835	0	0.11-0.12	11.2	72	1.06-1.24

Таблиця 4 Вихідні дані Lazard та результат РВЗ для ДЛ

Техноло	Час життя	Пов.вит	Витрат	Вартість заряду[U SD/кВтго	СЗВ К [%]	Ефективність	РВЗ [USD/кВтг
Li-ion	10-20	385-652	0.04-3.1	0.03-0.11	11.2	86	0.27-0.39
Li-ion	10-20	303-855	0.03-6.6	0.03-0.11	11.2	70	0.18-0.41

Як видно з таблиці 3 та таблиці 4, ставка дисконтування у цій моделі становить 11,2% як для ВТМ, так і для ІТМ. Це ґрунтується на структурі капіталу 80% власного капіталу з 12% вартості власного капіталу та 20% боргу при 8% вартості боргу. ДоD встановлюється на 100% з 350 циклами на рік. Усі дані отримуються з розділу «Основні припущення».

Технічне торгове видання SolarPro порівнює LCOS для трьох різних систем зберігання даних (Matthias & Brearley, 2016). Це стосується вартості, їзди на велосипеді та ефективності, використовуючи спрощену формулу РВЗ:

$$РВЗ = \frac{CAPEX}{UCc\eta}$$

Там, де UC є корисною ємністю. Спрощене рівняння Solarpro (1.2) не розглядає вартість O&M чи вартість часу грошей, як протилежне до більш часто використовуюваного рівняння LCOS (1.1).

SolarPro мотивує такий підхід, заявивши, що заявки постачальників не потребують обслуговування. Проаналізовані додатки до акумуляторних

батареї: Powerwall Tesla стосовно вартості системи, батарея Sonnen єсоб по відношенню до їзди на велосипеді та система зберігання енергії Adara Power щодо ефективності. Далі акцент буде приділятися Powerwall Tesla відносно вартості, оскільки це відповідає решті дослідження.

Проведено порівняння корисності та житлового використання. Номінальна потужність - 6,4 МВт · г, а встановлена вартість встановлена в розмірі 6500USD для масштабу корисності, а 9000USD для житлових. Кількість циклів - 3650, а ефективність в обидва кінці - 90%. Це засновано на пілотній програмі Зелених гірських держав та першому роздрібному власнику компанії Powerwall Treehouse (Matthias & Brearley, 2016).

SolarPro також включає наближення до корисної ємності системи зберігання протягом її терміну експлуатації. Оскільки SolarPro не має доступу до стандартизованих даних корисної ємності, які перевірила третя сторона, вони заявляють, що найкращим наближенням до цього є гарантія постачальника батареї.

Таблиця 5 Вихідні дані Solarpro's та результат РВЗ для ДЛ

Техноло	Час життя	Пов.вит	Витрат	Вартість заряду[U SD/кВтг]	СЗВ К [%]	Ефект ивність	РВЗ [USD/кВтг]
Li-ion	10-20	385-652	0.04-3.1	0.03-0.11	11.2	86	0.27-0.39
Li-ion	10-20	303-855	0.03-6.6	0.03-0.11	11.2	70	0.18-0.41

У таблиці 5 наведено гарантовану потужність у кВт / год. Гарантія обумовлена поетапною деградацією. Згідно зі статтею "Tesla гарантує 18МВт-год від агрегованого розряду", це, звичайно, підвищить ЖКХ, оскільки ефективність буде знижуватися з роками (Matthias & Brearley, 2016).

Дослідження, проведене Всесвітньою енергетичною радою (WEC), порівнює ряд застосувань для зберігання електроенергії як для ITM, так і для BTM (Всесвітня рада з питань енергетики, 2016). Дослідження фокусується на LCOS та конкретних інвестиційних витратах для різних технологій, а також представлено два випадки зберігання, розміщені у вітровій електроенергетиці та сонячній фотосистемі. Моделі кошторисної вартості базуються на дослідженні літератури, де дані про витрати отримуються з досліджень, проведених у період 2012-2015 років. Розрахунок проводиться PwC, а джерела економічних параметрів надходять з Agora Energiewende, ISEA Aachen, Fraunhofer IWES, IAEW Aachen, Stiftung Umweltenergierecht та PwC.

Номінальна потужність, що аналізується, встановлюється до 10 МВт як для іонного, так і для ВФБ, і до 70 МВт для свинцевої кислоти, яка охоплює всі основні сфери застосування від пікового гоління до житлового використання. Для всіх проаналізованих технологій ставка дисконтування встановлюється на рівні 8%. Для короткочасного зберігання експлуатаційна вартість встановлюється в розмірі 2% від питомої вартості інвестицій для всіх трьох технологій.

PwC також розглядає E2P, встановлений на 1-10. Однак для короткотермінового аналізу та двох випадків застосування E2P встановлений в межах від 1 до 4.

Таблиця 6 Вихідні дані світової енергетичної ради та результат PB3

Батарея	Час житт.	Пов.вит	Витрат	Вартість заряду[U SD/кВтго	СЗВ К [%]	Ефективність	PB3 USD/кВтг
Li-ion	5-20	385-652	7-74	0	8	85	0.15-0.7
Кислот.	5-20	303-855	10-34	0	8	77	0.1-0.4
Ванадієві	5-20	1000-3500	20-70	0	8	70	0.12-0.42

Протягом терміну експлуатації систем зберігання не змінилися ціни та параметри. Години повного навантаження в еквівалентному діапазоні між 365-1460 годинами на рік, доD 70% для короткочасного зберігання з літій-іонною та свинцевою кислотами. Для VFB DoD встановлюється на 100%. Що стосується введення електроенергії, то вартість встановлюється до нуля, що показано в таблиці 6.

У доповіді від 2017 року Національна лабораторія відновлюваної енергії (NREL) представляє модель порівняння витрат на обладнання між різними джерелами (Ardani, et al., 2017). NREL заявляє, що порівняння цих інвестиційних витрат між різними джерелами ускладнюється різними розмірами системи та інформацією, що надається кожним джерелом. Щоб уникнути цієї проблеми, вони поділяють апаратні витрати системи на витрати компонентів, що стосуються енергетичної потужності та потужності потужності, та обчислюють загальну вартість обладнання для стандартного розміру системи. Вони також заявляють, що існує невизначеність цього методу щодо того, як інформація надається різними джерелами.

Pacificorp представляє модель оцінки загальної вартості системи у своєму звіті від 2016 року (pacificorp, 2016). Подібно до NREL, витрати на обладнання поділяються на витрати, що стосуються енергоємності та потужності. Вони також включають вартість системи контролю потужності, баланс вартості системи, вартість установки та фіксовану вартість O&M. Фіксована вартість O&M надається як нівельована протягом тривалості проекту 20 років. Вартість системи управління потужністю та баланс вартості системи представлені у перерахунку на USD / кВт, а вартість монтажу - у доларах / кВт / год. Потім загальну вартість системи можна обчислити для заданого розміру системи. Аналізовані технології акумуляторних батарей - літій-іонні, ванадієві, натрієво-сірчані та цинкові батареї.

Згідно з повідомленням Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики (IRENA), майбутнє розвитку витрат для BESS є перспективним.

Зі збільшенням розміщення відновлюваних джерел енергії попит на сховища енергії зростатиме та пропонує нові економічні можливості (Ralon та ін., 2017). За даними Argisum, очікується значне зростання ринку стаціонарних акумуляторних систем. Вони оцінюють зростання потужностей з 2GWh в усьому світі в 2015 році до 33GWh до 2020 року (Mayr & Veushausen, 2016).

Одним із ключових факторів цього зростання є розвиток витрат на акумуляторні технології. IRENA оцінює зменшення витрат на встановлення енергії від 150-1050 доларів / кВт / год у 2016 році до 75-480 дол. / кВт / год до 2030 року в залежності від технології акумулятора. IRENA підраховує, що капітальна вартість системи з літій-іонним акумулятором зменшиться приблизно на 60% і приблизно на 50% для системи з свинцево-кислотним акумулятором. За прогнозами, система з технологією VFB зменшить капітальні витрати приблизно на 66%. Це зменшення капітальних витрат підвищить конкурентоспроможність BESS стосовно більш традиційних систем зберігання (Ralon та ін., 2017).

Завдяки широкому спектру можливих застосувань було здійснено чимало інвестицій у літій-іонні акумулятори. Використання літій-іонних акумуляторів в електромобілях є ще одним промисловим застосуванням і ключовим рушієм для зниження витрат акумулятора. Оскільки акумулятор є найдорожчим компонентом автомобіля з електроприводом, зниження ціни є необхідною умовою подальшого прийняття (Berckmans, et al., 2017).



Рис.3 Рух до зниження витрат акумуляторних технологій. Джерело:
Міжнародне агентство з відновлюваної енергії

Щоб досягти зниження витрат на літій-іонні батареї, а також інших технологій, необхідно збільшити масштаб виробництва, кращі матеріали, більше досліджень тощо (Ralon, et al., 2017). Фіг.3 ілюструє схематичний вигляд розвитку витрат акумуляторів.

Для стаціонарних цілей IRENA оцінює значне зростання акумуляторних батарей для додатків BTM до 2030 року, особливо для систем, поєднаних із сонячним фотоелектричним електроживленням (PV) для збільшення самоспоживання. Особливо це стосується європейського ринку, де країни часто відчують високі комерційні та житлові тарифи на електроенергію. Вони також заявляють, що комбінація акумуляторної батареї та ПВ, ймовірно, зростатиме в тих країнах, що розвиваються, де це може допомогти власникам будинків зіткнутись із затемненнями та відключенням коричневих тонів. Загальна потужність BESS у поєднанні з PV може досягати 45-75 GWh до 2030 року, згідно IRENA (Ralon, et al., 2017). Ірена також зробила

дослідження для G20, де вони підраховали, що 80% світового споживання електроенергії може відбуватися з поновлюваних джерел енергії в 2050 році.

Bloomberg New Energy Finance (2017) підрахував, що глобальне розміщення сховищ збільшиться вдвічі в шість разів між 2016 і 2030 роками, зрости приблизно до 300 ГВт-год.

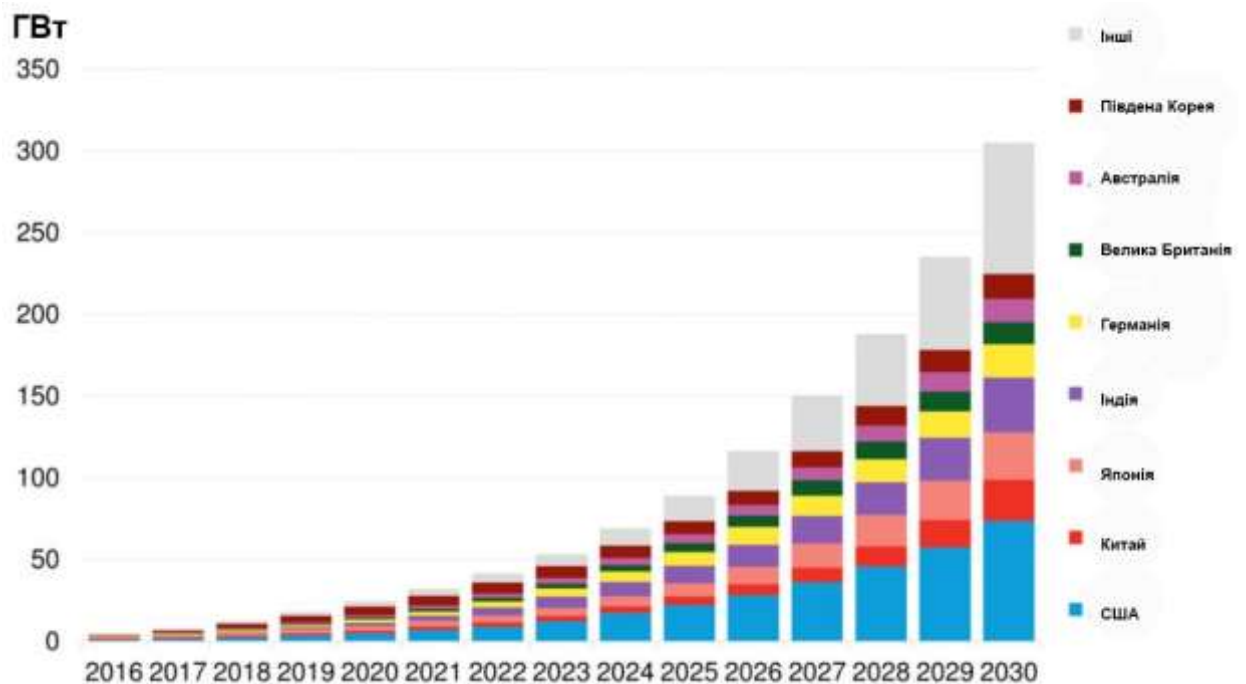


Рис.4 Глобальне використання акумуляторної батареї. Джерело: Bloomberg новий енергетичний подих

Це з тими ж темпами, що ринок розвивався з 2000 по 2015 рік. Bloomberg заявляє, що 70% потужностей, встановлених до 2030 року, будуть розміщені у восьми різних країнах. Як видно з рисунка 4, ці країни - це США, Китай, Японія, Індія, Німеччина, Великобританія, Австралія та Південна Корея (Bloomberg New Energy Finance, 2017).

Огляд літератури був зроблений з метою повного розуміння того, як оцінити витрати СЕЗББ. Була визначена та оцінена найчастіше модель, РВЗ. Було проаналізовано шість різних джерел з по-різному побудованими РВЗ.

Таблиця 7 Аналіз джерел

Застосу	Джерело			
ДЛ	Apricum	Lazard	World energy council	Jülch
ЗЛ	Apricum	Lazard	World energy council	SolarPro

У таблиці 7 відображено джерела, на яких базується аналіз цього дослідження. Щоб зробити аналіз максимально точним та релевантним, моделі витрат поділяються відповідно до того, для якої програми вони призначені.

Однією з цілей цього дослідження є представлення базових значень на СЕЗББ як для ДЛ-, так і для ЗЛ-додатків. Це робиться шляхом обчислення середніх значень на основі найбільш вичерпних оцінок СЕЗББ у відкритій літературі. Оскільки в усіх джерелах немає представленої формули СЕЗББ, яка була використана, СЕЗББ були перераховані для всіх джерел, використовуючи однакову формулу. Це спосіб зробити порівняння більш релевантним та точним. Формула, яка була використана:

$$LCOS = \frac{CAPEX+O\&M \sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+r)^n} - \frac{v_{res}}{(1+r)^{N+1}}}{cDoDRC \sum_{n=1}^N \frac{1-DEGn}{(1+r)^n}} + \frac{p_{elec}}{\eta} \quad (1.3)$$

Хоча різні джерела надають детальну інформацію про використовувані дані, для розрахунку РВЗ було зроблено кілька припущень. Деякі джерела надають свої дані в діапазонах, тому дані, використані в цьому звіті, є середніми значеннями цих діапазонів. WEC надає свої дані в діапазони, які охоплюють розміри системи, призначені для програм ЗЛ та ДЛ. Дані, використані в цьому звіті, були обрані в цих діапазонах, які відповідають типовим розмірам системи для програм ЗЛ та ЗЛ.

Залишкова вартість різних систем не враховувалася при порівнянні РВЗ, оскільки вона була включена лише в одну з моделей витрат. Залишкова

вартість системи може суттєво відрізнятись від конкретного випадку; це залежить від того, як працює система, і тому її загалом важко припустити. Вартість зарядки не була включена в кожену модель витрат, яка була проаналізована, і також може відрізнятись від конкретного випадку. Ціна електроенергії сильно залежить від географічного розташування системи, тому її важко припустити. Отже, порівняння проводиться без витрат на зарядку, але подається як посилання для ілюстрації впливу ціни на електроенергію.

Аналіз чутливості був проведений за формулою РВЗ, щоб визначити, які чинники найбільше сприяють зниженню витрат на акумуляторну батарею. Чотири параметри були повторені від -40% до 40% один за одним, а інший залишався постійним. Параметри були сарех, орех, дисконтна ставка та цикли. Кількість циклів задається як кількість разів заряджання та розряджання акумулятора за рік і залежить від характеристик системи. Цикли можна обчислити так:

$$\text{Цикли} = \frac{T}{t}$$

Де T - години повного навантаження, а t - час процесу скидання. Години повного навантаження - це загальна кількість годин, яку акумулятор розряджає протягом свого життя. Оскільки t є постійним, кількість циклів пропорційна кількості годин повного навантаження. Отже, повторення кількості циклів на рік матиме такий же ефект, як ітерація часу роботи системи. Причина циклів ітерацій замість годин повного навантаження полягає в тому, що час процесу скидання не задається різними джерелами і залежить від конкретної системи.

Був також проведений аналіз чутливості щодо впливу ціни на електроенергію на РВЗ, який базується на еталонному випадку. Референтний випадок у цьому звіті - це середнє значення для літій-іона додатка ДЛ та з ціною електроенергії 10 USDc / кВт * год, яка є середньою роздрібною ціною

електроенергії для житлового користування в США сьогодні (US Energy Information Administration, 2018).

Ще однією метою цього звіту було представити загальний прогноз розвитку витрат СЕЗББ. Окрім представлення наявних робіт щодо розвитку витрат у огляді літератури, було зроблено прогноз на РВЗ до 2030 року. Проекція базується на середніх значеннях, розрахованих раніше для програм ЗЛ та ДЛ. Основні припущення для цієї прогнозу базуються на зменшенні ставки та ставки дисконтування, а також на підвищенні ефективності. Скорочення капіталу базується на прогнозах IRENA (2017) щодо зменшення витрат на капітальні витрати для систем з літій-іонними, свинцево-кислотними та ванадієвими-технологіями. Вони проектують столицю

витрати на систему з літій-іонним акумулятором зменшаться приблизно на 60% і приблизно на 50% для системи з свинцево-кислотним акумулятором. За прогнозами, система з ванадієвою технологією зменшить капітальні витрати приблизно на 66%. Оскільки розвиток накопичувача енергії значно зросте, WACC зменшиться. Це пов'язано з вищою конкуренцією; інвестори не можуть досягти такої ж віддачі від інвестицій, коли нові технології повністю впроваджуються. Ризик у таких проектах може бути зменшений через подальше знання та розуміння СЕЗББ. Іншим фактором, що сприяє зменшенню ризику, може бути інформація, зібрана за результатами поточних проектів BESS. Сьогодні ставки в західному світі, як правило, на низькому рівні, і, за прогнозами, він продовжиться на кілька років вперед (Gamber, 2017). Це може призвести до потенційного зниження WACC. Розмір скорочення, природно, важко передбачити, але оскільки середній показник WACC у цьому звіті становить 8,5%, передбачуваний WACC встановлений на 5% для прогнозу на 2030 рік. Це відповідає СЕЗББ, що використовується у дослідженнях огляду літератури, які становлять від 3% до 11%. Ефективність технологій зберігання акумуляторних батарей

передбачається підвищити до 2030 року (Ralon та ін., 2017), але оскільки прогноз, проведений у цьому звіті, виключає витрати на зарядку, ефективність не матиме впливу на РВЗ. Включення витрат на зарядку вимагає низки невизначених припущень і, таким чином, потребує всебічного аналізу, що виходить за мету цього дослідження.

Оскільки Jülch та Всесвітня рада з питань енергетики аналізують свої дані в частині євро, здійснюється перерахунок на долар США. Використаний курс FX становить 1,11 EUR / USD, що є середнім середнім рівнем ціни закриття між 2015-01-01 по 2016-12-31 (Інвестування, 2018). Діапазон дат пояснюється тим, коли оцінюються звіти.

5 Результати

Результати порівняння між різними джерелами представлені першими. Середні значення для LCOS також представлені для всіх трьох акумуляторних технологій для програм ВТМ та ІТМ. Друга частина показує результати аналізу чутливості за формулою LCOS. Також представлений аналіз чутливості, який показує вплив ціни лише на електроенергію. В останній частині представлено проєкцію LCOS на 2030 рік на всі три технології акумуляторів як для ВТМ, так і для ІТМ-додатків

5.1 Порівняння технологій

Представлено порівняння між усіма трьома технологіями з отриманими середніми значеннями.

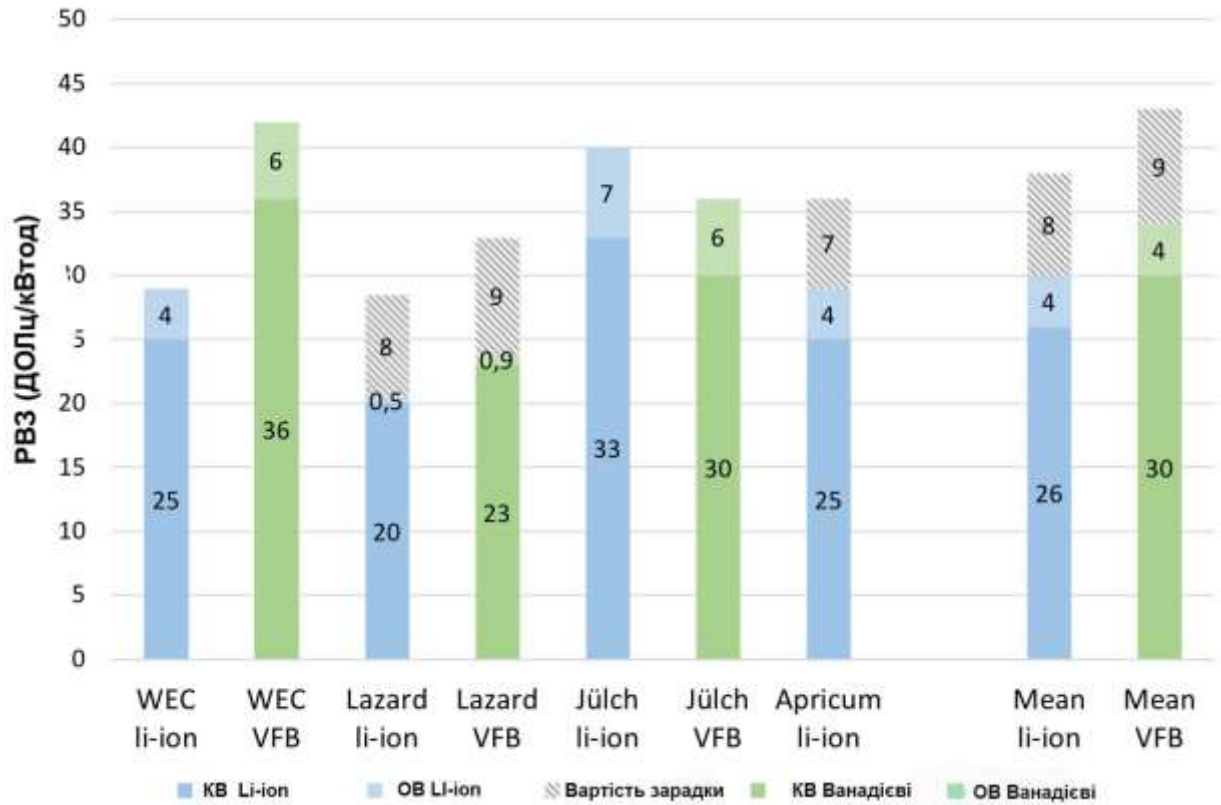


Рис.5 РВЗ для застосування виміру ДЛ

Як видно на малюнку 5, результат для середньої РВЗ без тарифічних цін становить 30 ДОЛц/кВт /год для літій-іонних та 34 ДОЛц / кВт для ванадієвих. Якщо включати ціни зарядки, середній РВЗ становить 38 ДОЛц / кВт / год для літій-іонних та 43 ДОЛц / кВт для ванадієвих.

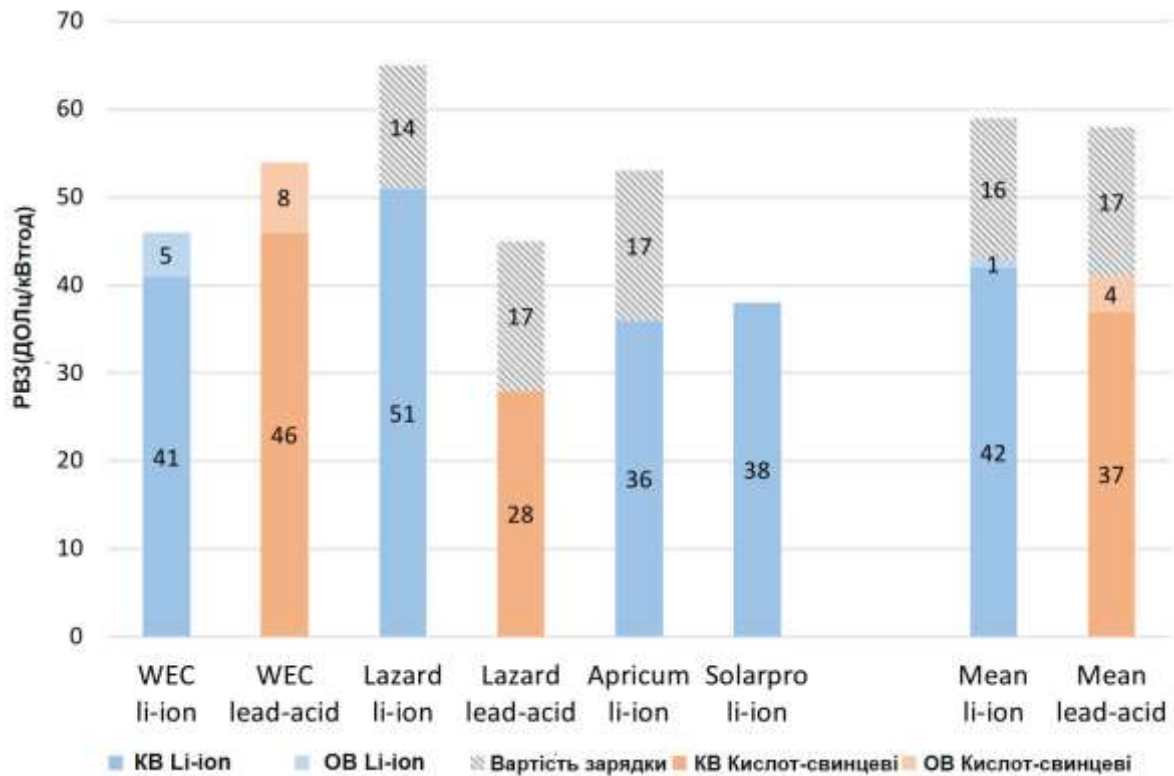


Рис.6 РВЗ для застосування виміру ПЛ

Як видно на рисунку 6, результати середнього РВЗ без ціни заряду становлять 43 ДОЛц / кВт / год для літій-іона та 41 ДОЛц / кВт / год для ванадієвих. Якщо включена ціна зарядки, середнє РВЗ становить 59 ДОЛц / кВт / год для LI-іона та 5 ДОЛц / кВт / год для ванадієвих.

5.2 Аналіз чутливості на РВЗ

Аналіз чутливості показує вплив циклів, КВ, ОВ та ставки дисконтування на формулу РВ для всіх технологій.

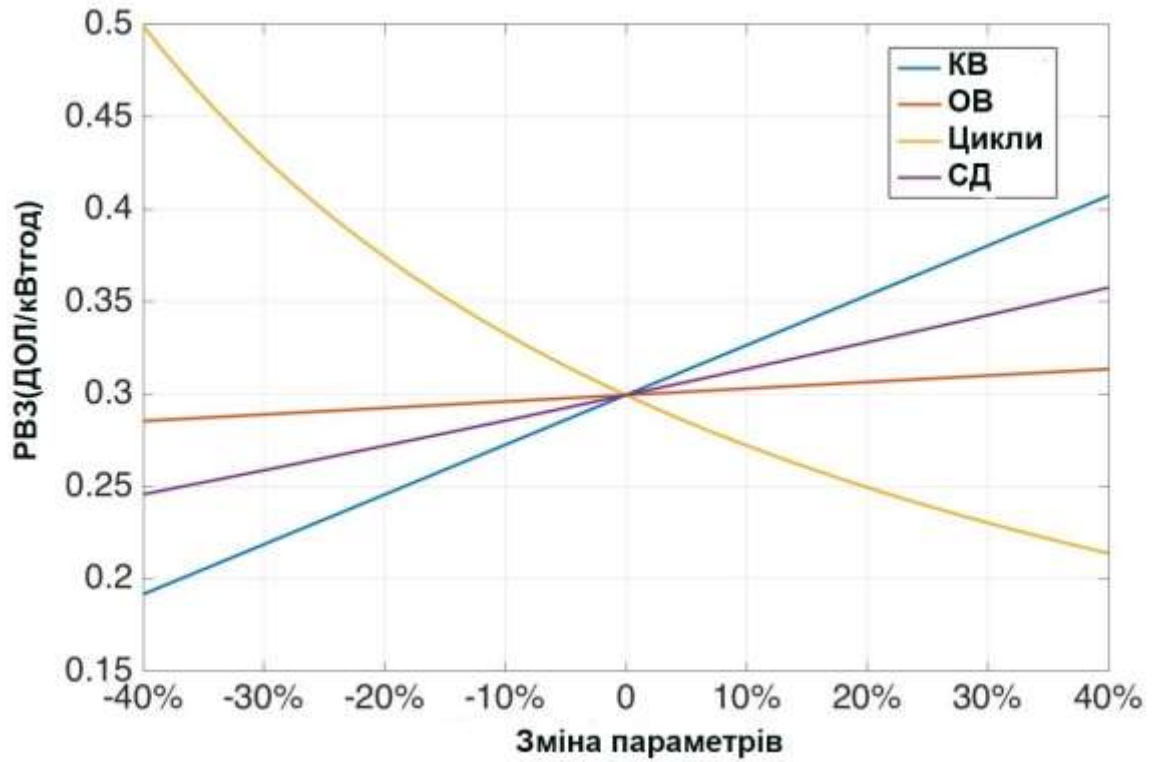


Рис.7 Аналіз чутливості РВЗ для Li-ion ДЛ

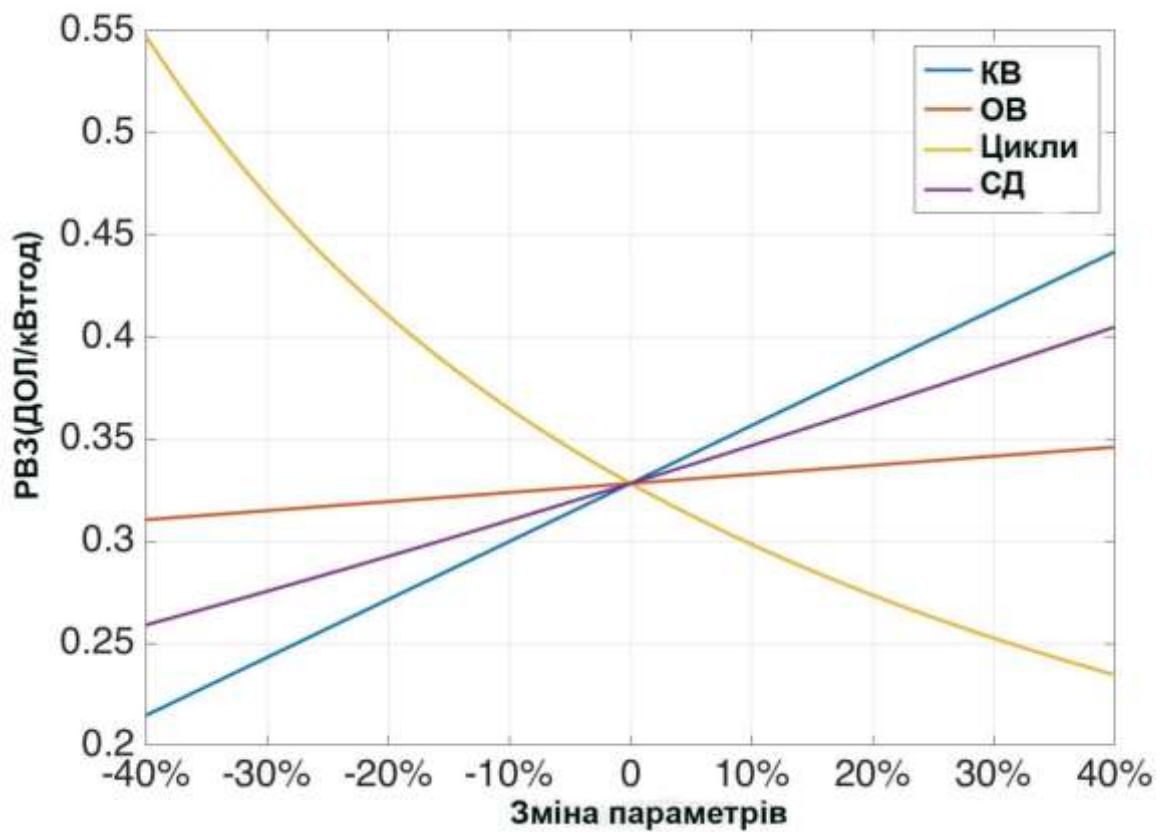


Рис.8 Аналіз чутливості РВЗ для Ванадієвих ДЛ

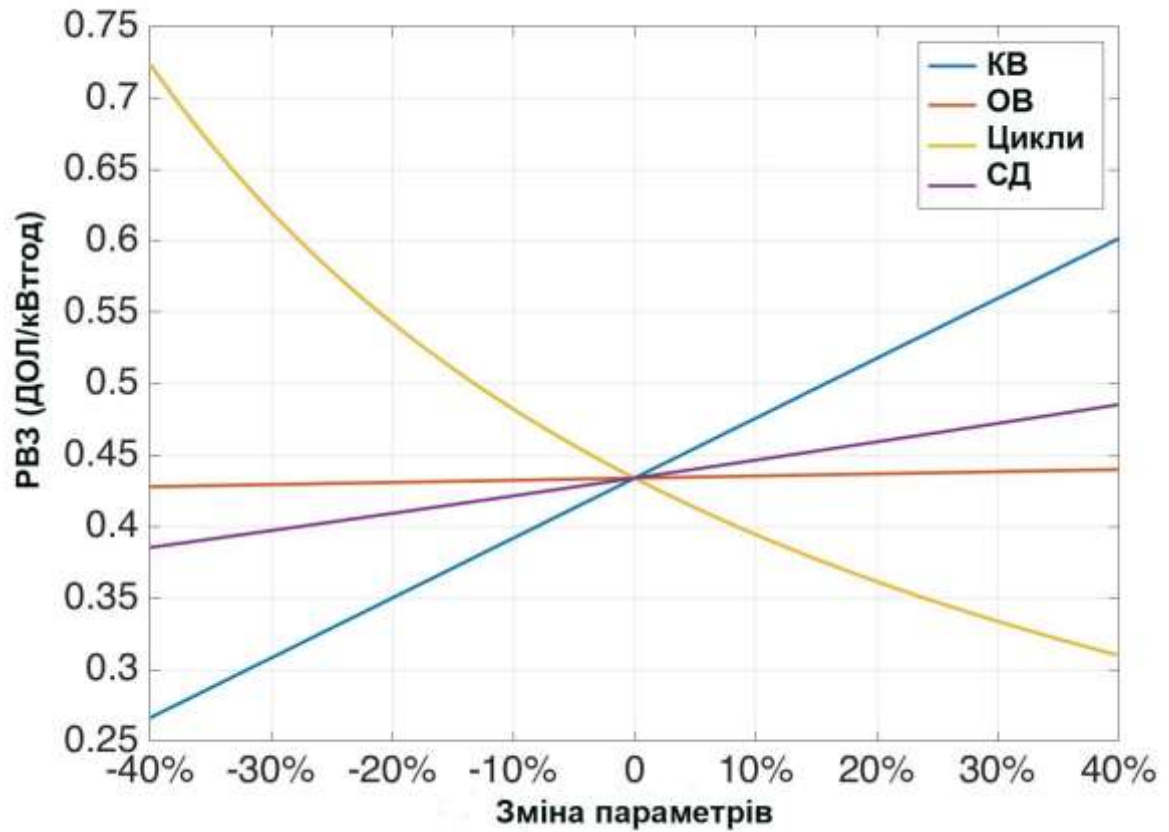


Рис.8 Аналіз чутливості РВЗ для Li-іон ДЛ

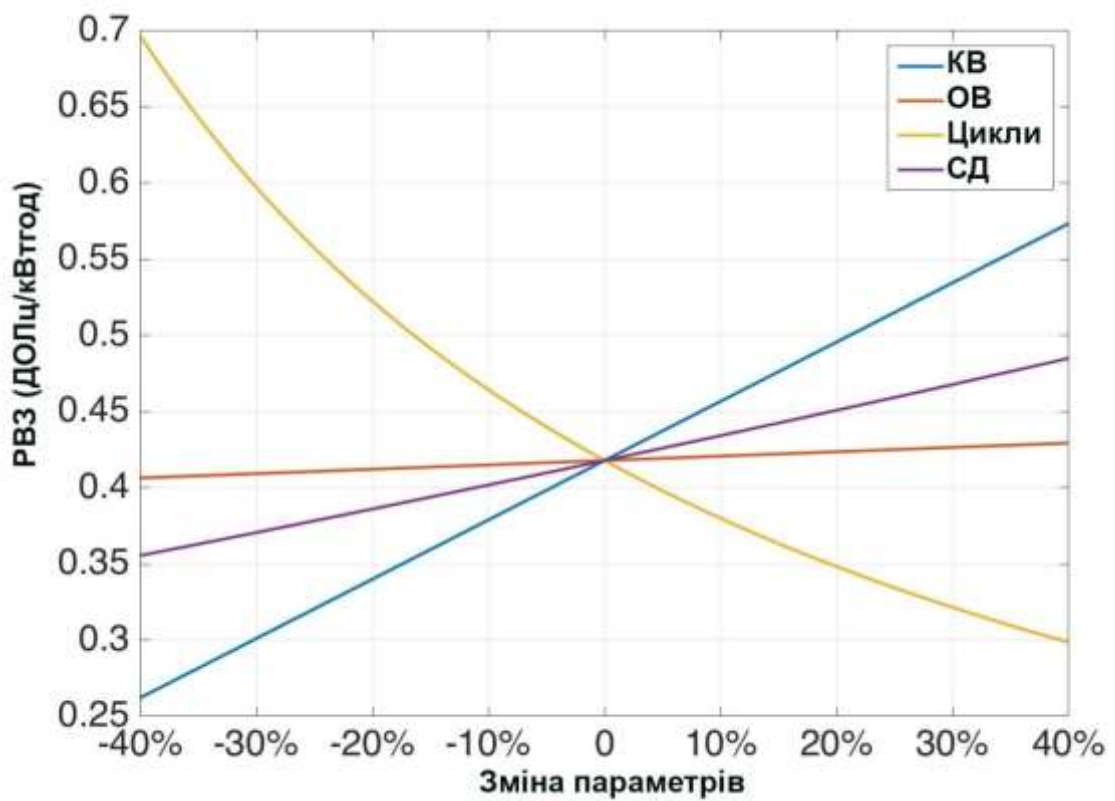


Рис.10 Аналіз чутливості РВЗ для Ванадієвих ЗЛ

Аналіз чутливості показує, що найбільший вплив відбувається від циклів, які співвідносяться з кількістю годин повного навантаження. Сарех і СД також мають великий вплив на РВЗ. Для всіх технологій цифри 7-10 показують, що зменшення розміру капіталу на 30% призведе до зниження ЖКП приблизно на 20%. Зниження СД на 40% показує, що РВЗ знизиться приблизно на 20% для ДЛ-додатків і на 13% для програм ЗЛ.

Аналіз чутливості ціни на електроенергію базується на нашому довідковому випадку

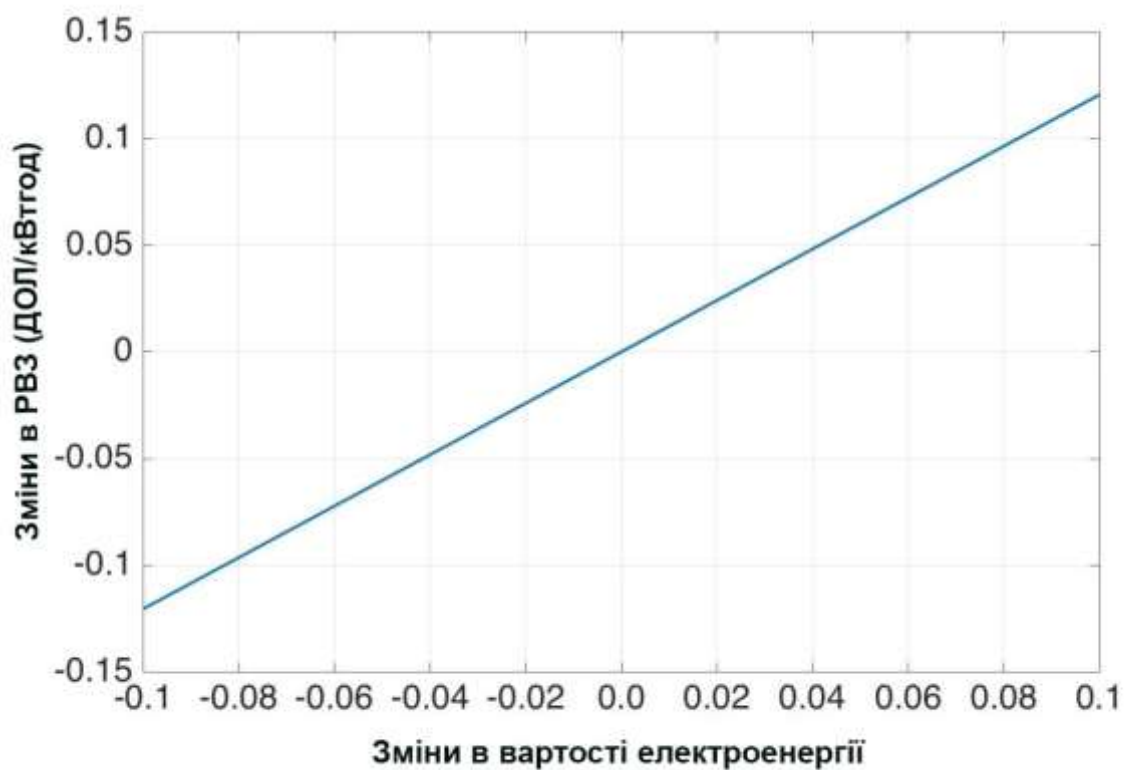


Рис.11 Аналіз чутливості на РВЗ щодо ціни на електроенергію

На рисунку 11 показано вплив ціни на електроенергію на РВЗ. Зміна РВЗ буде на 20% більше, ніж фактична зміна ціни на електроенергію.

5.3 Проекти для РВЗ 2030

У цьому розділі представлена проєкція РВЗ на 2030 рік.

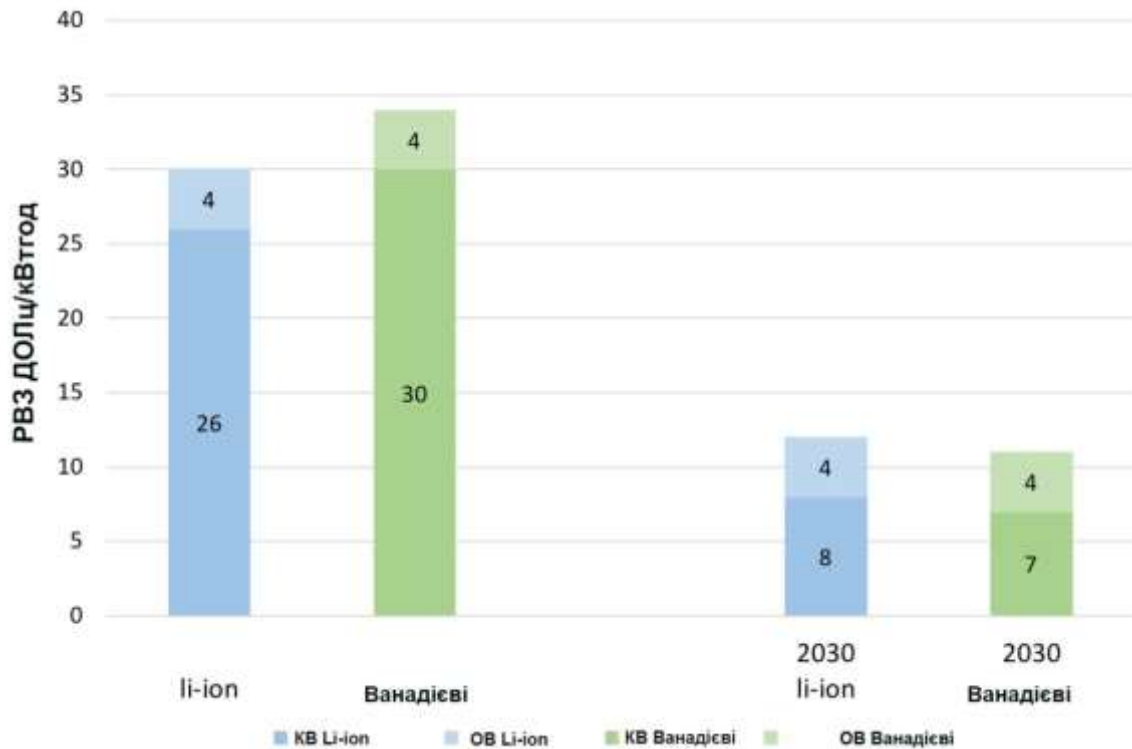


Рис.12 Проекції для РВЗ 2030 для додатків ДЛ.

Як показано на малюнку 12, прогнозується, що РВЗ для Li-ion знизиться на 60% з 30 ДОЛЦ/ кВтгод до 12 ДОЛЦ/ кВтгод, а РВЗ для Ванадієвих знизиться на 68% з 34 ДОЛЦ/ кВтгод до 11 ДОЛЦ/ кВтгод.

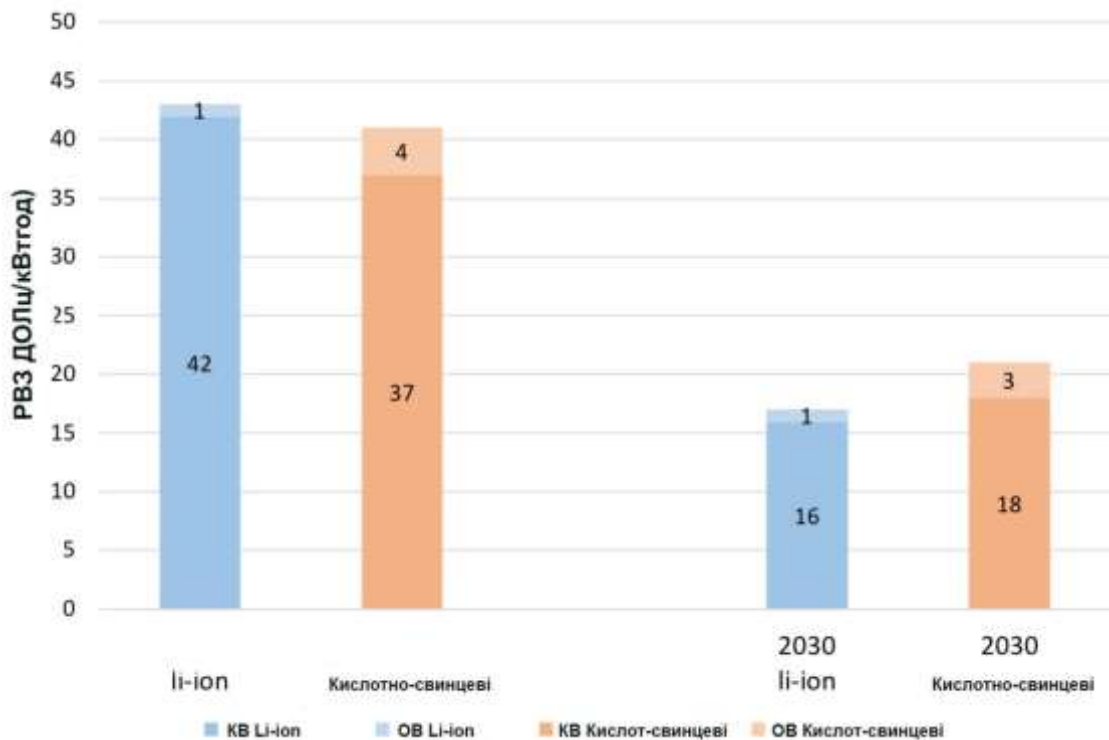


Рис.13 Проекції для РВЗ 2030 для додатків ЗЛ.

Як показано на рисунку 13, прогнозується, що РВЗ для літій-іона зменшиться на 60% з ДОЛц/ кВтгод до 17 ДОЛц/ кВтгод, а РВЗ для свинцевої кислоти прогнозується впасти на 49% з 41 ДОЛц/ кВтгод до 21 ДОЛц/ кВтгод.

Цей звіт має на меті визначити та порівняти існуючі моделі витрат для BESS. Однак на сьогоднішній день LCOS є єдиною моделлю для оцінки витрат на акумуляторну систему протягом усього її життя. Як зазначено у звіті, іншим способом оцінки та порівняння витрат системи акумуляторної батареї є орієнтація на конкретні інвестиційні витрати для встановлення системи на основі розміру та характеристик системи. Ці моделі витрат не враховують таких витрат, як O&M, залишкової вартості та зарядки, а також часової вартості грошей, що ускладнює зацікавленим сторонам оцінку рентабельності системи акумуляторної батареї. Тому цей звіт зосереджується на найбільш детальній та всебічній моделі витрат, доступній для того, щоб повністю зрозуміти всю структуру витрат BESS. Якщо ви бажаєте використати інформацію в цьому звіті для оцінки або порівняння первинних витрат, надаються розміри капіталу та розмір системи.

Багато джерел встановлюють інтервали для їх вартості для різних параметрів. В деяких випадках значення вибиралися в межах цих інтервалів, які, здавалося, застосовні на сьогодні. Це, звичайно, може призвести до несправних середніх значень та прогнозів, але саме тут аналіз чутливості буде великою підтримкою. Можна йти далі вгору або вниз у діапазоні конкретного параметра і спостерігати ступінь впливу на LCOS.

Що стосується прогнозу LCOS до 2030 року, то зменшення показника капіталу для всіх технологій відбувається за рахунок IRENA; дослідження, яке базується на 150 джерелах даних та інтерв'ю експертів. Оцінка майбутнього WACC може бути оманливою, оскільки вартість власного капіталу змінюється залежно щодо ризику та віддачі від інших інвестицій. Можливе збільшення ризику, якщо поточні проекти матимуть негативні

результати. Однак оцінка WACC 2030 на 5% все ще відповідає діапазону джерел.

Передбачається, що Опекс до 2030 року залишиться незмінним. Системи повинні підтримуватися, і на сьогоднішній день частина опексу вже низька відносно капексу. Якщо припустити, що вона знизиться ще далі, це невиправдано. Тривалість роботи системи представляє особливий інтерес, оскільки її вплив на LCOS є значним. Згідно з аналізом чутливості, збільшення тривалості життя призводить до зниження ЛКОС. Це пов'язано зі збільшенням кількості годин повного навантаження. Цей звіт не надав прогнозів тривалості життя BESS. Хоча можна припустити, що термін експлуатації BESS позитивно корелює з технологічними вдосконаленнями систем та стандартизацією продукції.

Аналіз чутливості, який показує вплив ціни на електроенергію на LCOS, ґрунтується на вартісному внеску витрат на зарядку, яка є ціною на електроенергію, поділеною на ефективність в обидва кінці. Отже, чим краща ефективність, тим ближче до паритету будуть зміни.

П'ять джерел, які використовуються в цьому звіті для аналізу даних для LCOS, зібрані з відкритої літератури. Вони складаються у період між 2015 та 2018 роками. Існують й інші звіти, які ведуться між 2009 та 2015 роками, але на сьогоднішній день вони стосуються актуальності. Існує кілька звітів, наприклад, з досліджень GTM, дослідження Lux та Navigant, які б сприяли цьому звіту, але оскільки їх дорого придбати, це не було можливим варіантом. Для кожного нового джерела, який міг би бути включений у цей звіт, результат нашої середньої вартості для LCOS був би все точнішим до того, що є сьогодні на ринку. Незважаючи на це, цей звіт дає хороші вказівки щодо того, куди спрямовується вирівняна вартість зберігання.

Важливо визнати, що результати прогнозування майбутніх ЗСО, проведених у цьому звіті, зроблені без внеску стягнення витрат. Як описано в аналізі, це пов'язано з коливанням ціни на електроенергію залежно від географічного

розташування системи. Не враховуючи вартість зарядки неявно означає, що ефективність системи зберігання в обидва кінці не враховується. Незважаючи на те, що вартість електроенергії до 2030 року передбачається складною, ефективність зворотного зв'язку акумуляторних систем може дуже підвищитись. Більше інвестицій в батарейні технології призведе до збільшення масштабів виробництва, кращих матеріалів, додаткових досліджень тощо (Ralon, et al., 2017), що поліпшить загальну продуктивність акумуляторної батареї. Тому прогноз на LCOS, проведений у цьому звіті, може розглядатися лише як орієнтир того, як капітальні витрати та часова вартість грошей впливатимуть на LCOS до 2030 року і повинен бути доповнений витратами на оплату та ефективністю в обидва кінці для більш точної вартості оцінка.

Як було зазначено раніше у звіті, формула LCOS розраховує нівельовану ціну за одиницю електроенергії, при якій чиста приведена вартість дорівнює нулю. Однак, LCOS не забезпечує оцінку вартості акумуляторної системи, коли вона використовується для багаторазового використання. Наприклад, система зберігання теоретично може забезпечити регулювання частоти в мережі.

Якщо припустити, що поточний прогноз на ринку правильний, LCOS, швидше за все, знизиться найближчим часом. Спад, в основному, керується Сарех, але такі параметри, як термін служби BESS, також можуть вплинути. Згідно з консенсусним поглядом на розвиток ринку, найближчим часом ринок сховища енергії побачить значне зростання. Це може сприяти використанню відновлюваних джерел енергії і може вважатися необхідною умовою стати суспільством, що не викопно. Згідно з літературою, проаналізованою в цьому дослідженні, накопичення енергії акумулятора буде складати більшу частину загальної наявної ємності в майбутньому. Можливою причиною цього може бути простота встановлення цих систем по відношенню до традиційних сховищ, таких як насосне гідросистема, CAES.

Крім того, зростання ринку акумуляторних батарей також може бути пояснено постійним зростанням відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні фотоелектричні батареї та енергія вітру. Однак накопичення енергії акумулятора, ймовірно, залишиться незначною частиною загальної потужності в найближчому майбутньому.

Про те, що LCOS є показником для подальшої оцінки акумуляування енергії акумулятора, сказати не можна. Багато доповідей і журналів часто викликають труднощі підрахунку LCOS. Захід є новим, розміри системи та цілі використання змінюються, ціни на електроенергію коливаються, а інколи системам можуть знадобитися субсидії, щоб бути прибутковою. Інфраструктура, закони та нормативні акти в певній країні - це також параметри, які необхідно враховувати. Існують й інші способи досягнення повної картини витрат системи, наприклад, загальна встановлена вартість стосовно розміру системи та нівельована вартість електроенергії, про які йдеться у звіті. В майбутньому можуть розробитись нові моделі витрат, що може призвести до більш точних оцінок. У цьому випадку та з огляду на те, що ринок продовжить зростати, важливо проводити більше досліджень та звітів у секторі зберігання енергії. Це також призведе до ранніх висновків щодо можливих недоліків того, що робиться сьогодні. Як було сказано в розділі обговорення, у відкритій літературі не існує оцінки витрат на зберігання акумуляторів із складеними службами. Але Лазард стоїть на правильному шляху, заявляючи, що це те, на що вони мають ознайомитись у своїх майбутніх розрахунках LCOS (Labrador, 2016).

4 ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ СИСТЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Цей розділ містить опис аналізу витрат життєвого циклу, проведеного для дослідження вартості СЗЕ. Він дотримується тієї ж процедури, що і в [1], що призводить до теперішньої вартості витрат (капіталу та операційних) на 10-річний термін експлуатації. Зауважимо, що життєвий цикл іноді відноситься до аналізу, який включає можливу утилізацію обладнання, що використовується, цей компонент не включається в даному аналізі.

Методика витрат

Компоненти системи збереження енергії зображені на рис.4.1



Рисунок 4.1 – Основні складові витрат СЗЕ

Основними складовими витрат системи накопичення енергії є одиниця акумуляції (\$ / кВт·год) та блок перетворення потужності (\$ / кВт) [3]. Залишок зазвичай витрачається на одиницю зберігання.

Повна вартість визначається за наступним алгоритмом. З формули 4.1 визначаються капітальні витрати,

$$K = K_{инв} + K_{нак}, \quad (4.1)$$

де $K_{инв}$ – вартість обладнання для перетворення потужності (\$/кВт), визначається за формулою 4.2;

$K_{нак}$ – вартість обладнання призначеного для накопичення електроенергії (\$/кВт·год) визначається за формулою 4.3

$$K_{инв} = K_{инв} \cdot P, \quad (4.2)$$

$$K_{нак} = K_{нак} \cdot E, \quad (4.3)$$

де E – накопичена енергія (кВт·год)

У найпростішому випадку E дорівнює добутку потужності на час розряду чи зберігання [15], що також залежить від типу акумулятора рис. 4.2 його ємності та глибини його розряду.

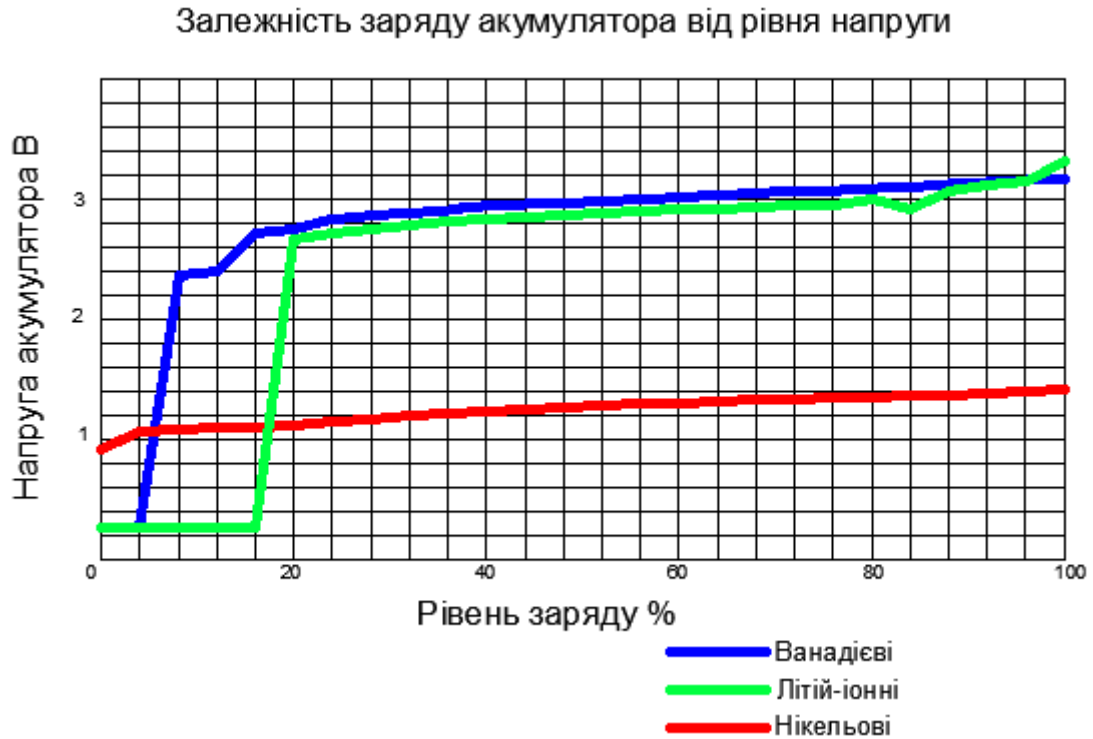


Рисунок 4.2 – Залежність напруги від рівня заряду

Усі системи мають певну ефективність. Для врахування цього рівняння 4.3 змінюється наступним чином:

$$K_{\text{нак}} = K_{\text{нак}} \cdot \frac{E}{\eta}, \quad (4.4)$$

де η – ефективність

Тільки тоді, коли відомі одиничні витрати підсистем, та відома ємність зберігання в кВт·год, можна переписати капітальні витрати з точки зору потужності:

$$K_{\text{сист}} = \frac{K}{P}, \quad (4.5)$$

Поточна вартість або теперішня вартість - це вартість на дату (наприклад, початок проекту) майбутнього платежу або серії майбутніх платежів, дисконтованих для відображення часового курсу валюти. У цьому

аналізі поточна вартість - це сума всіх знижених витрат за 10-річний термін служби системи. Детальне обґрунтування використання концепції та приклади того, як воно використовується для обчислення вигоди та витрат, наведені в [16]. Тут використана така ж методологія для розрахунку коефіцієнта поточної вартості κ_{nom} вартості життєвого циклу. Рівняння коефіцієнта κ_{nom} протягом 10-річного терміну служби наступне:

$$\kappa_{nom} = \sum_{i=1}^{10} \frac{(1+e)^{i-5}}{(1+d)^{i-5}}, \quad (4.5)$$

де e – річний рівень ескалації цін(%/рік);

d – тарифна ставка (%/рік);

i – кількість років.

Цей коефіцієнт поєднується з іншими значеннями, отриманими за допомогою іншої інформації та алгоритмів для обчислення теперішньої вартості.

Витрати, пов'язані з використанням системи зберігання, розраховуються використовуючи припущені фінансові значення, наведені в таблиці 4.1. Найбільш помітними за значимістю є: а) 10-річний термін служби системи зберігання; б) 10% облікова ставка та с) 2% річних темпів ескалації цін (інфляції). Коли при розрахунку виплат припускаються однакові значення, можна порівняти обидві.

Таблиця 4.1 – параметри для обчислення коефіцієнта поточної вартості

Параметри	Значення
Загальний рівень інфляції	2%
Тарифна ставка	10%
Термін служби	10 років
Фіксована ставка заряду	11%
Фіксований тариф на замовник	15%
Вартість палива, природнього газу	\$5/М
Вартість електроенергії, зарядки	10¢/кВт·год

Вартість розраховується для системи, додаючи вартість накопичувача та системи кондиціонування енергії. Ці підсистеми розглядаються окремо, оскільки вони забезпечують різні функції та мають ціну за різними рейтингами. Елементи живлення ціна в \$/кВт, агрегати накопичення енергії оцінюються в \$/кВт·год. З цієї причини необхідні окремі витрати на підсистему, хоча їх часто важко відокремити від цін на систему постачальників. Значення, використані в цьому оновленні, наведені в таблиці 4.2 разом із посиланнями.

Технологія	Вартість підсистеми живлення \$/кВт	Вартість підсистеми зберігання енергії \$/кВтгод	Ефективність в обидва кінці	Цикли	Ресурс
Вдосконалені свинцево-кислотні акумулятори	400	330	80	2000	8
Натрієво-сірчані акумулятори	350	350	75	3000	8,9,10
Свинцево-кислотні акумулятори з підвищеними вуглецевими електродами	400	330	75	2000	8,10,13
Бром-цинкові акумулятори	400	400	70	3000	10
Ванадієво-відновлювальні акумулятори	400	600	65	5000	11
Літій-іонні акумулятори	700	600	85	4000	8,10
Збереження стисненого повітря	700	5	N/A(70)	25000	8
Насосне гідроакмулювання	12000	75	85	25000	10
Маховики (високошвидкісні)	600	1600	95	25000	10
Конденсатори (двошарові електрохімічні)	500	10000	95	25000	12

Витрати в таблиці 4.2 ґрунтуються на певних стандартних припущеннях для розглянутих застосувань та технологій та на думку експертів. Вони призначені для використання в порівняльних цілях. Фактичні витрати будь-якої системи зберігання залежать від багатьох факторів, і припущення, а засоби розрахунку деяких використаних значень є суб'єктивними та продовжують обговорюватися навіть серед експертів у цій галузі.

Порівняння витрат життєвого циклу розраховували для кожної з систем. На цій основі також були враховані відмінності в ефективності, частоті

заміни та експлуатаційних факторах. Результати можна обчислити як нівельовані щорічні витрати, у \$ / кВт·рік. У цьому дослідженні результати представлені лише у \$ / кВт·рік. Усі витрати за поставлену кВт·рік.

Нівельована щорічна вартість K_{LAC} складається з таких умов:

- нівельовані постійні витрати на експлуатацію та обслуговування;
- вирівняні річні витрати на заміну деталей;
- вирівняні змінні витрати на енергоносії та експлуатацію

$$K_{LAC} = K_{FCR} \cdot K_{TCC} + K_{OMf} \cdot k + K_{ARC} \cdot k + (K_{OMv} \cdot k + K_{UCg} \cdot K_{HR} \cdot 10^{-6} \cdot k_{Lg} + K_{UCe} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot 10^{-2} \cdot \kappa_{Le}) \cdot N \cdot T, \quad (4.6)$$

де K_{FCR} – Фіксований тариф чи вартість зберігання заряду (1 / рік)

K_{TCC} – загальна вартість капіталу (\$ / кВт)

K_{ARC} – щорічні витрати на заміну (\$ / кВт / рік)

K_{OMf} – Фіксовані витрати на експлуатацію (\$ / кВт / рік)

K_{OMv} – змінні витрати на експлуатацію (¢ / кВт / год)

k – Коефіцієнт вирівнювання експлуатаційних витрат ($I=f(Y)$)

K_{UCg} – одинична вартість природного газу (\$ / МБту)

K_{HR} – швидкість тепла (Btu / кВт / год)

k_{Lg} – коефіцієнт вирівнювання газу

K_{UCe} – Одинична вартість вхідної електричної енергії (¢ / кВт / год)

η – ККД зберігання

κ_{Le} – коефіцієнт вирівнювання електричної енергії

T – час роботи в день (год / д)

N – кількість робочих дні на рік (д / рік)

I – ставка знижок (1 / рік)

Y – період вирівнювання або термін служби системи (років)

Коефіцієнт вирівнювання перетворює теперішні та майбутні витрати в річні витрати на основі передбачуваної облікової ставки та періоду вирівнювання [17]. Коефіцієнт схожий з коефіцієнтом відновлення капіталу,

але також враховує різницю між реальними та очевидними ескалаційними ставками та дисконтовими та інфляційними темпами.

Огляд витрат на капітал з рівняння 4.6 зрозуміло, що складова капітальних витрат є важливою складовою річної вартості. Для тих систем, які складаються з накопичувача енергії та єдиної системи перетворення електроенергії, яка працює як в режимах розряду, так і заряду, вартість системи - це сума витрат на компоненти, плюс витрати на баланс системи [17]:

$$K = K_{inv} + K_{нак} + K_{бс}, \quad (4.7)$$

Для більшості систем вартість накопичувача пропорційна кількості накопиченої енергії формула 4.3.

У цих простих рівнянь є деякі винятки та обмеження. Для початку всі системи мають певну неефективність. Для врахування цього рівняння 3 змінюється наступним чином:

$$K = K_{нак} \cdot \frac{E}{\eta_{роз}}, \quad (4.8)$$

де $\eta_{роз}$ – ефективність розряду

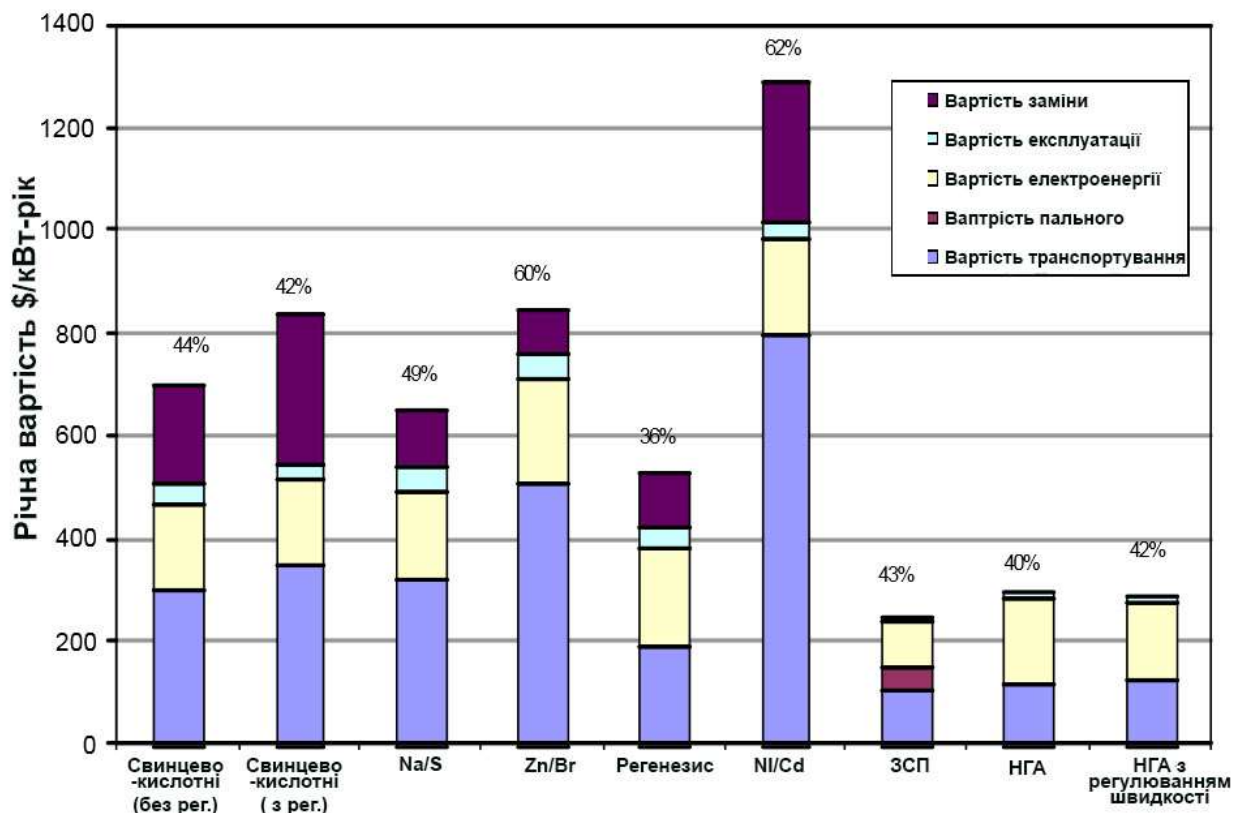
Крім того, багато накопичувачі не вивантажуються повністю з експлуатації через напругу або механічні міркування. У цих випадках сховище повинно бути великим; вартість одиниці повинна відображати поставлені \$ / кВт·год. Крім того, для свинцево-кислотних акумуляторів, літій-іонних акумуляторів та деяких маховиків витрати на одиницю енергії не є короткими для розряду, тому що, як правило, неможливо вивести всю енергію за короткий імпульс [5]. Таким чином, найкоротші акумуляторні батареї, що розглядалися в цьому дослідженні, були десятихвилинні акумулятори.

Витрати на баланс заводу, $K_{бс}$, як правило, пропорційні енергоємності, але в деяких випадках це постійні витрати або пропорційні потужності. У

цьому дослідженні були включені витрати на будівництво для систем акумулювання великої енергії, припускаючи, що новий майданчик, ймовірно, буде підготовлений для таких великих установок. Для систем розподіленої генерації ми припускали, що менші підрозділи будуть розташовані на існуючих підстанціях, а значить, витрати на будівництво не враховуються. Продукти якості електроенергії зазвичай пропонуються як автономні блоки, і знову ж таки, витрати на будівництво не включалися.

Результати дослідження графічно представлені на (рис. 4.3,4.4) на рисунках представлені складові річної вартості у (\$/ кВт·рік) для технологій об'ємного зберігання, розрахованих на 8-годинний час вивантаження, на 4-годинної розрядки.

Рисунок 4.3 – Річні витрати на 8-годинні технології з



берігання

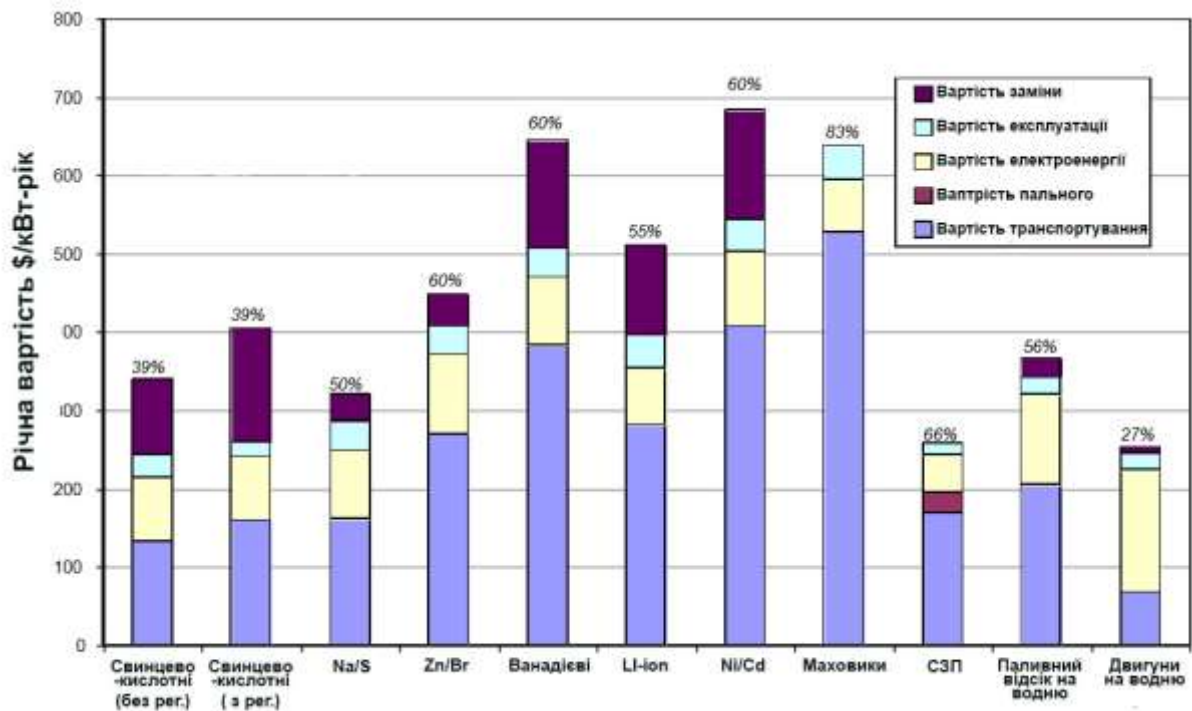


Рисунок 4.4 – Річні витрати на 4-годинні технології зберігання

Висновки

Як видно теперішня вартість сильно відрізняється не лише між технологіями, але і між категоріями застосувань. Найбільш очевидна відмінність - між тривалим та короточасним використанням; тривале використання просто вимагає більшої ємності. Найменш дороге тривале зберігання знайдено для ЗСП, але для цього, звичайно, потрібен відповідний геологічний сайт.

Відмінності між частою та нечастою експлуатацією також істотні для деяких технологій. Часте використання дорожче, тому що для зарядки купується більше електроенергії та через те, що деякі технології переживатимуть тривалість їхнього циклу протягом 10-річного періоду часу та будуть потрібні дорогі заміни. Технології з довгим терміном циклу привабливіші для додатків, що вимагають частого заряду та розряду

ВИСНОВКИ

Досліджено, що за останні роки системи накопичення енергії зазнали стрімкого розвитку по причині масового впровадження ВДЕ. Системи збереження можуть автономними, сумісними, та здійснювати накопичення як по постійній напрузі так і по змінній. Кожна конфігурація має переваги та недоліки, вартість сумісних систем менша за рахунок спільного розподільчого пристрою та меншої кількості допоміжного обладнання, але під час роботи системи витрати під час експлуатації будуть більшими. Системи зв'язані постійною напругою мають менші втрати порівняно з зв'язком по змінній.

Однією з найоптимальніших технологій, що може бути використана для накопичення є використання акумуляторних батарей. Та в залежності від режиму роботи вартість системи змінюється відповідно. Системи з довгим терміном зберігання та частими розрядками є більш дорогими ніж системи які мають короткий інтервал розрядки.

Маневрова потужність, яка необхідна системі, буде генеруватись із САЕ. Тобто, накопичувачі будуть повністю перекривати піки навантажень, а в мінімуми навантаження, коли в системі буде надлишок потужності від генерування ФЕС, вона буде накопичуватись в САЕ під час літнього сезону. В зимовий сезон для покриття небалансу потужності САЕ не вистачить тому потрібна потужність ТЕС для покриття небалансу.

Наявність ФЕС в розподілені електричній мережі дає змогу зменшити недовідпуск електричної енергії та покращити час переривів в електропостачанні.

Організаційні заходи з ОП допоможуть покращити виробничий процес та зменшать кількість травмувань персоналу під час роботи, використання вдосконалених джерел світла дає змогу зменшити споживану потужність.

Розраховані витрати на СЗЕ дають змогу вибрати технології та режим роботи накопичувачів, що може застосовуватися для подальших розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук, "Визначення оптимальної потужності резерву для забезпечення балансової надійності локальної електричної системи", *Вісник НТУ «ХПІ»*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 69-75. – doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.11.
2. П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, В.В. Кулик, "Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних мереж", *Енергетика та електрифікація*. – 2015. – №1. – С. 8–12.
3. Schoenung, S.M. and Hassenzahl, W.V. Long vs. Short-term Energy Storage: Sensitivity Analysis. SAND2007-4253. 2007.
4. П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, Д. С. Собчук, "Аналіз впливу розосередженого генерування на режим розподільних електричних систем", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – №6. – 2013. – С. 45–47. – ISSN 1997-9266.
5. P. Lezhniuk Optimal integration of photoelectric stations in electric networks. Lezhniuk P.D., Komar V.O., Kravchuk S.V, Lesko V.O., Netrobskiy. – monograph. LAP LAMBERT Academic Publishing. – ISBN-13 - 978-620-0-08225-1. – 2019 – P – 220.
6. Ю.І. Тугай, В.В. Козирський, О.В. Гай, В.М. Бодунов, "Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів", *Технічна електродинаміка*. – 2011. – № 5. – С. 63-67. ISSN 1607-7970
7. Варецький Ю. О., Горбань В. М., Пазина Я. С. Зміни напруги в електричній мікромережі з гібридною електростанцією. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Електроенергетичні і електромеханічні системи. 2016. № 840. С. 17 – 23.

8. Л.Н. Добровольська, В.І. Волинець, Д.С. Собчук, В.В. Черкашина, "Електричні мережі з відновлюваними джерелами енергії: навчальний посібник". – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2016. – 352 с.
9. Д.С. Собчук "Використання нетрадиційних джерел енергії в електроенергетичних системах для підвищення надійності та якості електропостачання", *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Вип. 40.* – Луцьк, 2013. – С. 261–265.
10. Л.В. Давиденко, Н.В. Коменда, Т.І. Коменда. "Управління та контроль енергоспоживання: навч. посіб. рекомендовано Луцьким НТУ для студ. напряму "Електротехніка та електротехнології" МОН України, Луцький НТУ ; – Луцьк : Луцький НТУ, 2015. – 87 с. Луцький НТУ. ISBN 978–617–672–087–4
11. Walid El-Khattam Kankar Bhattacharya, Yasser Hegazy and M. M. A. Salama "Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 19, no. 3, pp. 1674-1684, August 2004. Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems.
12. N. S. Rau and Y.-H. Wan. "Optimum location of resources in distributed planning"*IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, pp. 2014-2020, Nov. 1994.
13. Фьодоров А. А. Сербіновський Г. В. Большам Я. М. Посібник енергетика промислових підприємств (в чотирьох томах)/ Під. заг.ред. А. А. Фьодорова.: Т.2. – М.-Л., Госенергоиздат, 1963.-880 с.
14. Айзенберг Ю. Б. Довідник по світлотехніці / Під. ред. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983 -472 с
15. Eyer, James M., Iannucci, Joseph J., and Corey, Garth P. Energy Storage Benefits and Market Analysis Handbook. SAND2004-6177. 2004.
16. Schoenung, S.M. and Hassenzahl, W.V. Long- vs. Short-term Energy Storage Technologies Analysis: A Life-Cycle Cost Study. SAND2003-2783. 2003.

17. Raster, Dan. "Overview of Electric Energy Storage Options for the Electric Enterprise." EPRI presentation to the California Energy Commission. Feb. 2009.

Додаток Б
Детальний розподіл вартості автономної СЗЕ

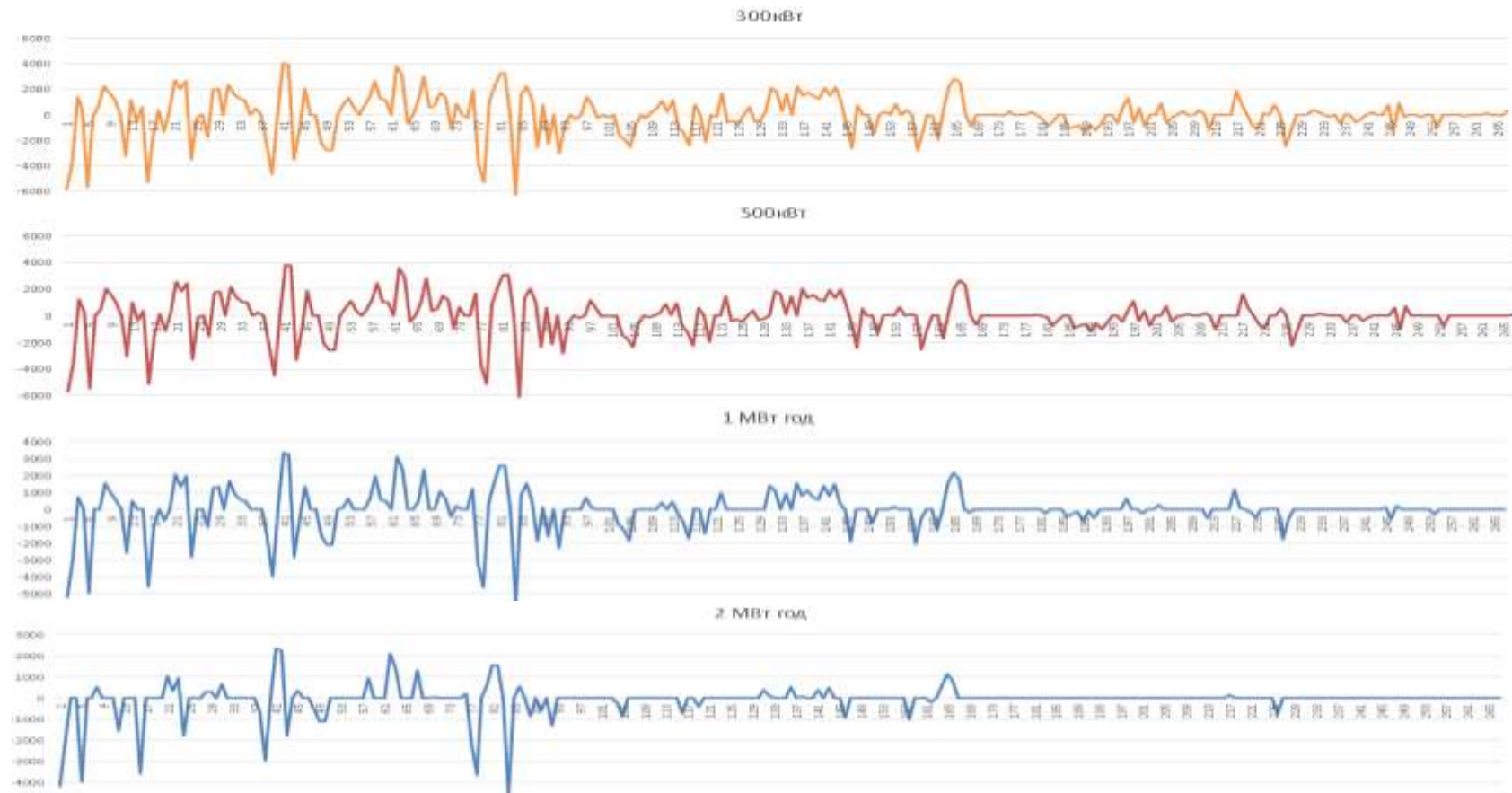
Компоненти моделі	60-МВт, 4-год. Інт, 240-МВт год			60-МВт, 2-год. Інт, 120-МВт год			60-МВт, 1-год. Інт, 60-МВтгод			60-МВт, 0,5-год. Інт, 30-МВтгод		
	Повна вартість (\$)	\$/кВтгод	\$/Вт	Повна вартість (\$)/кВтгод	\$/кВтгод	\$/Вт	Повна вартість (\$)/кВтгод	\$/кВтгод	\$/Вт	Повна вартість (\$)	\$/кВтгод	\$/Вт
Li-ion батарея	50,160,000	209	0.84	25,080,000	209	0.42	12,540,000	209	0.21	6,270,000	209	0.10
Батарея інвертора	4,200,000	18	0.07	4,200,000	35	0.07	4,200,000	70	0.07	4,200,000	140	0.07
Структурний БС	3,121,131	13	0.05	1,813,452	15	0.03	1,159,612	19	0.02	832,692	28	0.01
Електричний БС	8,602,825	36	0.14	6,119,167	51	0.10	4,877,337	81	0.08	4,256,423	142	0.07
Встановлення лаб. і обл..	5,479,149	23	0.09	4,322,275	36	0.07	3,743,838	62	0.06	3,454,619	115	0.06
ІПК Витрати	2,775,545	12	0.05	1,948,565	16	0.03	1,535,075	26	0.03	1,328,330	44	0.02
Податок від продаж	5,293,460	22	0.09	3,083,292	26	0.05	1,978,209	33	0.03	1,425,667	48	0.02
Σ ІПК кошти	79,632,110	332	1.33	46,566,751	388	0.78	30,034,071	501	0.50	21,767,732	726	0.36
Купівля зкмлі	250,000	1	0.00	250,000	2	0.00	250,000	4	0.00	250,000	8	0.00
Збір за патент	295,289	1	0.00	295,289	2	0.00	295,289	5	0.00	295,289	10	0.00
Внутрішньо-мережеві виплати	1,802,363	8	0.03	1,802,363	15	0.03	1,802,363	30	0.03	1,802,363	60	0.03
Непередбачувані обставини	2,477,135	10	0.04	1,476,303	12	0.02	975,887	16	0.02	725,679	24	0.01
Витрати на розвиток	2,477,135	10	0.04	1,476,303	12	0.02	975,887	16	0.02	725,679	24	0.01
ІПК/Чистий прибуток від розвитку	4,346,702	18	0.07	2,593,350	22	0.04	1,716,675	29	0.03	1,278,337	43	0.02
Σ Кошти на розвиток	11,648,623	49	0.19	7,893,608	66	0.13	6,016,101	100	0.10	5,077,347	169	0.08
Σ Повна вартість систем зберігання	91,280,733	380	1.52	54,460,359	454	0.91	36,050,172	601	0.60	26,845,079	895	0.45

Додаток В

Вартість експлуатації в залежності технології

Технологія	Свинцево-кислотна	Na / S	Br/Zn	V	Свинцево-кислотні з вуглицевими електродами	Li-ion	СП	ГА	Маховики	Конденсатори (1 хв)
Довгий інтервал зарядки і часта розрядка	2839.26	2527.97	2518.03	3279.34	2017.87	2899.41	1470.1	2399.9		
Довгий інтервал зарядки і рідка розрядка	1620.37	2438.97	1817.82	2701.41	1559.57	2442.79				
Короткий інтервал зарядки і часта розрядка	1299.70		905.53	1459.85	669.85	1409.99			965.73	834.62
Короткий інтервал зарядки і рідка розрядка	704.18		697.78	999.78	625.57	960.48			922.87	793.02

Додаток Г
Добові небаланси за рік



Додаток Д

Слайди, що відображають зміст магістерської роботи

Актуальність**1**

Швидкий тем будівництва сонячних станцій призвело до збільшення генерованої потужності в мережу. Зважаючи на відсутність якісних маневрових потужностей та велику кількість ВДЕ доцільним постає питання поєднання сонячної генерації з системами зберігання енергії, що дасть змогу дотримуватися прогнозованого графіку генерації, та штрафних санкцій під час відхилення від нього.

**Мета і задача дослідження****2**

Метою роботи є дослідження джерел накопичення енергії для дотримання прогнозованого графіку генерації ФЕС.

Для досягнення мети в роботі поставлені **такі задачі**:

- дослідити технології, що дозволяють накопичувати та акумулювати електроенергію;
- зробити розрахунок ємності накопичувача та вплив його на електричну мережу;
- дослідити заходи з охорони праці в виробничому ангарі де відбувається будівництво модульних будівель, визначити світлотехнічні та електротехнічні параметри;
- розрахувати залежність витрат на СЗЕ від технологій, що можуть бути застосовані для цього.

Об'єкт, предмет та методи досліджень

3

Об'єктом досліджень методи розрахунку ємності накопичувачів електроенергії та аналіз витрат на їх експлуатацію.

Предметом досліджень є системи, що можуть накопичувати електричну енергію та працювати разом з фотовольтаїчними електричними станціями.

Методи дослідження. В дипломній роботі використовувались:

- математичний апарат курсу систем і мереж – для визначення балансової потужності ;
- Програмний комплекс для моделювання використано програмний комплекс PowerFactory.

Наукова новизна та практичне значення

4

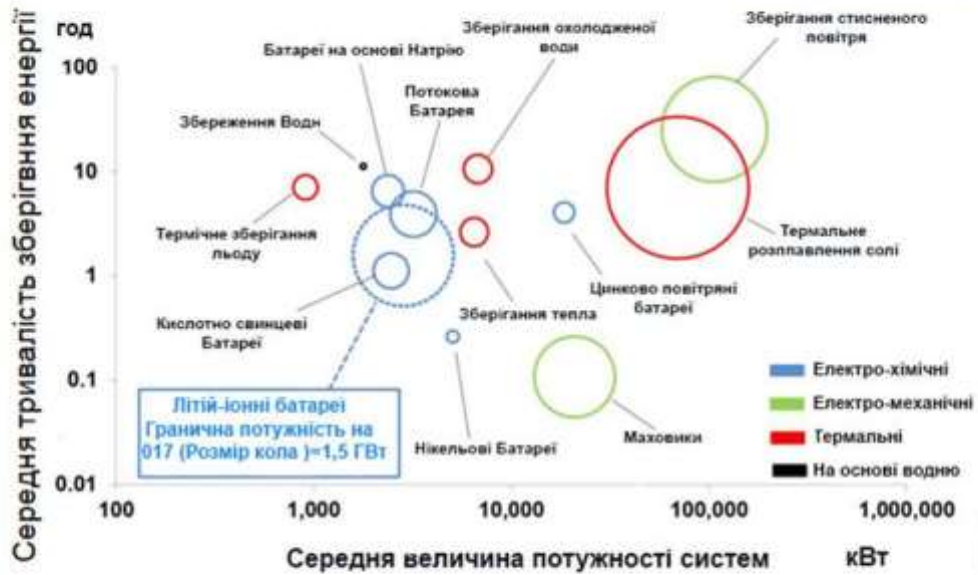
Наукова новизна полягає в тому, що:

- визначено переваги різних видів та конфігурації накопичувачів енергії їх вплив на ЕМ. Проаналізовані витрати дадуть можливість кращого вибору систем зберігання енергії та її конфігурації.

Практична цінність в тому, що:

- Приведений розрахунок дає можливість вибору ємності накопичувача, що буде дозволяти дотримуватися графіку генерації та дасть можливість покращити параметри електричної мережі, Отримані результати можуть використовуватися як для проектування СЕС з системами накопичення так і для реконструкції існуючих станцій.

Види систем накопичення енергії 5.1



Середні характеристики систем зберігання енергії в світі побудовані між 1958 та 2017 р.

Зростання потужності СЗЕ 5.2



Середньорічна потужність систем зберігання енергії побудованих в 2005 і 2017

Види конфігурації СЗЕ

6.1

Компоненти моделі	Сумісна PV-генерація+накопичення	PV-генерація+накопичення в різних місцях
Підготовка сайту	Один раз	Двічі
Вартість придбання землі	Нижча	Вища
Обмін обл. PV та накопичувачем енергії	Так(Підвищ. ТР, монітор, контролери та РП)	Ні
Вартість встановлення <u>даб.</u>	Нижча (завдяки апаратному обміну та разовій мобілізації праці)	Вища
ППК/Витрати та заробіток від розвитку	Нижча (менша вартість праці та повна вартість системи)	Вища
Міжсистемний зв'язок і дозвіл	Один раз	Двічі

Компоненти витрат для PV генерації та систем зберігання разом та окремо

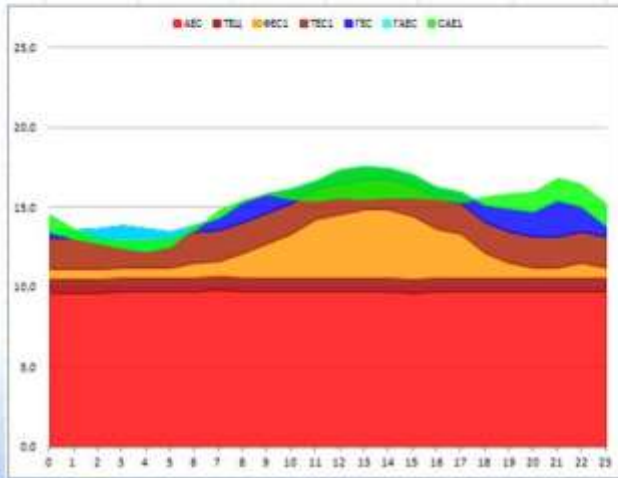
Види конфігурації СЗЕ

6.2

Компоненти моделі	DC-зв'язана конфігурація	AC-зв'язана конфігурація
Кількість інверторів	1 (двонаправлений інвертор для акумулятора)	2 (двонаправлений інвертор для акумулятора плюс інвертор), що призводить до зростання витрат на інвертора, проводки
Розміри стійки батареї	Менша (адже акумулятор безпосередньо підключений до PV) потрібні системи вентиляції, кондиціонування та гасіння пожежі	Більша
Вартість встановлення встановлення лабораторії	Більша (менший розмір стійки Більша кваліфікація працівників та трудові години для роботи при DC струмі)	Менша
ППК витрати	Більша (вища вартість монтажних робіт)	Менша
Податок з продаж	Менший	Більший (більші витрати на обладнання)
ППК/прибутку розробника	Менший	Більший (більші робочі витрати)

Компоненти витрат для PV генерації та систем зберігання зв'язаних постійним струмом та змінним

Розрахунок ємності накопичувача 7.1



Збільшення генерації потужності за рахунок впровадження САЕ

Ємність накопичувача

$$W_{\Delta} = \sum_{\substack{t=1 \\ P_{CAE,t} > 0}}^{24} P_{CAE,t} \quad (7.1)$$

Ємність накопичувача на протязі року

$$W_{PIK}^{OPT} = mean(\bar{W}_{\Delta}) \quad (7.2)$$

Потужність накопичувача на протязі року

$$P_{PIK}^{OPT} = mean(\bar{P}_{CAE_{DOS}}) \quad (7.3)$$

Розрахунок ємності накопичувача 7.2



Структура генерувальних потужностей в ОЕС зі збільшеною часткою ВДЕ до 10 МВт



Графік зміни потужностей ТЕС до та після введення САЕ

Потужність САЕ, яка необхідна бути в системі для забезпечення стабільної роботи

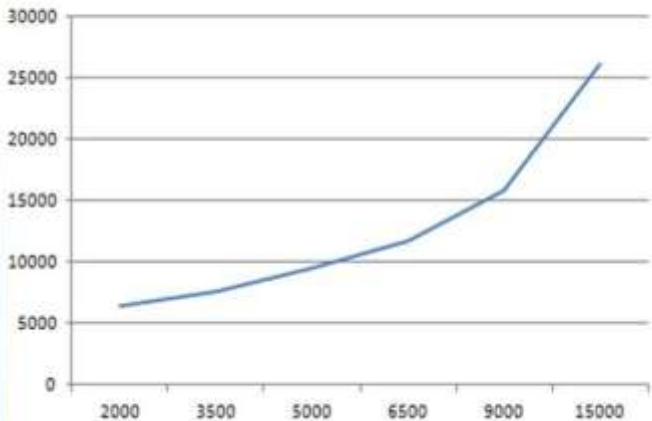


Ємність САЕ

8

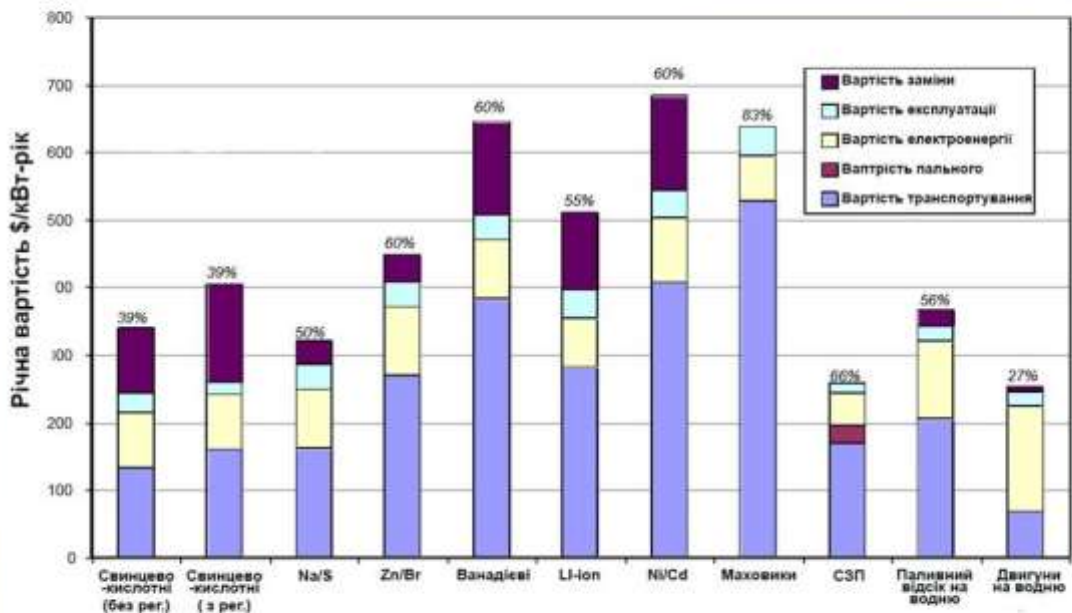
Потужність ФЕС, кВт	Ємність САЕ, кВт год	Потужність САЕ, кВт	Відношення ємності САЕ до потужності
2000	6343	1104	5,745471014
3500	7607	1299	5,85604311
5000	9500	1635	5,810397554
6500	11716	2049	5,717911176
9000	15762	2800	5,629285714
15000	26105	4712	5,540110357

Залежність збільшення потужності та ємності САЕ відносно потужності ФЕС



Порівняльна таблиця МП РЗА

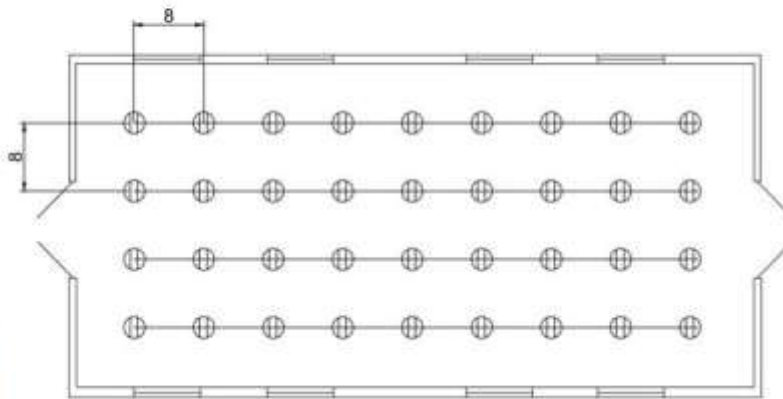
9



Річні витрати на 4-годинні технології зберігання

Охорона праці

10



Розташування
світильників

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

(10.1)

$$i = \frac{100 \cdot 25}{6 \cdot (100 + 25)} = 3.3$$

(10.2)

$$F = \frac{E \cdot k_3 \cdot A \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

(10.3)

$$F = \frac{80 \cdot 1.33 \cdot 2500}{64 \cdot 0.75} = 5541.6 \text{ лм}$$

(10.4)

Висновки

12

1. Системи збереження, здійснювати накопичення як по постійній напрузі так і по змінній. Кожна конфігурація має переваги та недоліки, вартість сумісних систем менша за рахунок спільного розподільчого пристрою та меншої кількості допоміжного обладнання, але під час роботи системи витрати під час експлуатації будуть більшими. Системи зв'язані постійною напругою мають менші втрати порівняно з зв'язком по змінній.
2. Однією з найоптимальніших технологій, що може бути використана для накопичення є використання акумуляторних батарей. Та в залежності від режиму роботи вартість системи змінюється відповідно.
3. Маневрова потужність, яка необхідна системі, буде генеруватись із САЕ. Тобто, накопичувачі будуть повністю перекривати піки навантажень під час літнього сезону. В зимовий сезон для покриття небалансу потрібна потужність ТЕС.
4. Організаційні заходи з ОП допоможуть покращити виробничий процес та зменшать кількість.
5. Розраховані витрати на СЗЕ дають змогу вибрати технології та режим роботи накопичувачів, що може застосовуватися для подальших розрахунків.