

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Аналіз переваг підключення системи накопичення енергії до розподільної мережі та їх впливу на якість напруги»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕС-20м  
спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
освітня програма «Електричні системи і  
мережі»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Шпильовий О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. каф. ЕСС

Бурикін О. Б.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. ЕСЕМ

Бабенко О. В.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., проф. Комар В. О.

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій та систем  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»  
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітньо-професійна програма – Електричні системи і мережі

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри ЕСС**  
д.т.н., професор Комар В. О.

\_\_\_\_\_ 2021 року

## **З А В Д А Н Н Я** **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Шпильовому Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Аналіз переваг підключення системи накопичення енергії до розподільної мережі та їх впливу на якість напруги»

керівник роботи к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС Бурикін О. Б.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 24.09.2021 року № 277

2. Строк подання студентом роботи 30 листопада 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів. Схема електричної мережі 0,4 кВ. Погодинні графіки генерування та навантаження СЕС

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Техніко-економічне обґрунтування проектування ГЕС. Аналіз технологій акумулювання енергії; Визначення оптимальної ємності накопичувача електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії; Визначення оптимальної ємності накопичувача у розподільних електричних мережах 0,4 кВ; Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Техніко-економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схема електричних з'єднань. Показники економічності роботи електричної мережі. Аналіз технологій акумулювання енергії. Визначення оптимальної ємності накопичувача у розподільних електричних мережах 0,4 кВ. Визначення оптимальної ємності накопичувача електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Бурикін О. Б., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Бондаренко Є. А. д.т.н., проф., професор каф. ЕСС		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

7. Дата видачі завдання 24 вересня 2021 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.21	06.09.21	
2	Аналіз технологій акумулювання енергії	07.09.21	12.09.21	
3	Визначення оптимальної ємності накопичувача електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії	13.09.21	05.10.21	
4	Визначення оптимальної ємності накопичувача у розподільних електричних мережах 0,4 кВ	06.10.21	20.10.21	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	21.10.21	30.10.21	
6	Техніко-економічна частина	01.11.21	10.11.21	
7	Оформлення пояснювальної записки	11.11.21	16.11.20	
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	17.11.21	25.11.20	
9	Розроблення технічного завдання	26.12.21	30.11.21	

Студент

( підпис )

Шпильовий О. О.

Керівник роботи

( підпис )

Бурикін О. Б.

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	4
АНОТАЦІЯ.....	9
ANNOTATION .....	10
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	11
ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ.....	14
1.1 Основні типи накопичувачів електричної енергії.....	14
1.1.1 Індуктивні накопичувачі енергії .....	15
1.1.2 Ємнісні накопичувачі енергії.....	17
1.1.3 Інерційні механічні енергоакумулюючі системи .....	18
1.2 Види електрохімічних акумуляторів .....	23
1.2.1 Свинцево-кислотні батареї .....	24
1.2.2 Нікель-кадмієві батареї.....	26
1.2.3 Нікель-метал-гібридні батареї.....	28
1.2.4 Літій-іонні батареї .....	31
РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.....	36
2.1 Визначення оптимальної ємності накопичувача для інтегрованих систем електрозабезпечення .....	36
2.2 Визначення ємності накопичувача для СЕС з урахуванням прогнозування графіка її генерування .....	44
РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧА У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,4 КВ.....	46
3.1 Визначення коефіцієнта форми графіка групового активного навантаження в розподільних електромережах за умови часткової невизначеності вихідної інформації.....	47

3.2	Визначення коефіцієнтів форми графіків навантаження віток електромереж з двонаправленим транспортуванням активної потужності .....	49
3.3	Визначення ємності накопичувача для розподільної мережі з даховими СЕС з урахуванням графіка їх генерування.....	52
	РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	56
	РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	59
5.1	Задачі розділу.....	59
5.2	Аналіз умов праці при роботах пов'язаних з обслуговуванням розподільних електричних мереж.....	60
5.3	Організаційні та технічні заходи, якими досягається безпека при обслуговуванні розподільних електричних мереж .....	63
5.3.1	Організаційно-технічні рішення з охорони праці за стандартами України.....	63
5.3.2	Розрахунок захисного заземлення для обладнання в ЗРП-10 кВ .....	64
5.4	Пожежна безпека будівлі ЗРП-10 кВ.....	69
5.5	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи ЗРП-10 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій .....	70
5.5.1	Дослідження стійкості роботи ЗРП-10 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	71
5.5.2	Дослідження стійкості роботи ЗРП-10 кВ електричної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу .....	73
	ВИСНОВКИ .....	76
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	78
	ДОДАТОК А .....	<b>ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.</b>

## АНОТАЦІЯ

Шпильовий О.О: «Аналіз переваг підключення системи накопичення енергії до розподільної мережі та їх впливу на якість напруги». Магістерська кваліфікаційна робота - Вінниця: ВНТУ, 2021. – 76 с., Таблиць: 11, Рисуноків : 21, Бібліографія: 37.

Проведено дослідження з оцінювання впливу дахових СЕС на технологічні витрати електроенергії у розподільних електричних мережах 0,4 кВ. Виявлено, що використання типових значень коефіцієнтів форми графіків навантаження призводить до істотного недорахування втрат електроенергії в мережах 0,4 кВ з СЕС. Збільшення частки корисного відпуску, що покривається СЕС призводить до зростання втрат в мережах завдяки різним графіками генерування СЕС та навантаження. Збільшення частки до 40% гарантовано призводить до збільшення втрат.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, структура втрат електроенергії, накопичувачі енергії, балансування.

## ANNOTATION

Shpylovy O.O: "Analysis of the benefits of connecting the energy storage system to the distribution network and their impact on voltage quality." Master's qualification work - Vinnytsia: VNTU, 2021. - 76 pp., Tables: 11, Figures: 21, Bibliography: 37.

A study was conducted to assess the impact of rooftop solar power plants on the technological losses of electricity in 0.4 kV electrical distribution networks. It is revealed that the use of typical values of shape factor of load schedule leads to a significant underconsumption of electricity losses in the 0.4 kV networks with rooftop solar power plants. The increase of the part of useful load covered by rooftop solar power plants leads to an increase in network losses due to different schedules of rooftop solar power plants generation and load. Increasing the part of generation to 40% is guaranteed to increase losses.

Key words: renewable energy sources, structure of electricity losses, energy storage devices, balancing.

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

- ВЕС – вітрова електрична станція;
- ГДК – гранично допустима концентрація;
- ЕЕС – електроенергетична система;
- ЕС – електрична станція;
- ЕМ – електричні мережі;
- ЕОМ – електронна обчислювальна машина;
- ЛЕП – лінія електропередачі;
- МГЕС – мала гідроелектростанція;
- НС – навколишнє середовище;
- ПС – підстанція;
- РДДБ – ринок двосторонніх договорів та балансуючого ринку електроенергії;
- ВДЕ – розосереджені джерела електроенергії;
- РЕМ – розподільча електрична мережа;
- СЕС – сонячна електрична станція;
- СНЕ – система накопичення електроенергії;
- ТГН – типовий графік навантаження;
- ТП – трансформаторна підстанція.



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Поряд із розвитком інтелектуальної розподільної мережі, технологія накопичення енергії, як одна з ключових технічних характеристик відіграє роль вирівнювання графіків навантаження та генерування, а також підвищення якості електропостачання у електроенергетичних системах [1]. Дослідження, щодо підключення систем накопичення електроенергії (СНЕ) до розподільної мережі є досить актуальними.

Створення нових матеріалів, що використовуються у системах зберігання енергії та розвиток електроенергетичних технологій сприяє поступовому розвитку все нових і нових технологій зберігання енергії, таких як надпровідні батареї, літій-іонні батареї, накопичувачі енергії стисненого повітря, тощо. літій-іонний акумулятор, проточний елемент, накопичувач енергії стисненого повітря тощо, які підходять для масштабного накопичення енергії [2]. Розвиток та прорив заклали основу для застосування систем накопичення електроенергії в системах електропостачання. Технологія накопичення енергії вже стала шостим елементом, окрім інших п'яти елементів виробництва електроенергії, трансформації електроенергії, передачі електроенергії, розподілу електроенергії, та споживання електроенергії при роботі електромережі.

СНЕ, безпосередньо підключений до розподільної мережі, знаходиться на підстанції електромережі. Через низькі здатність системи протистояти збуренням [3], стали актуальними питання координації та оптимізації управління СНЕ, вплив підключення до розподільної мережі потужних СНЕ, тощо [4]. У цій роботі було проаналізовано переваги підключення СНЕ до розподільної мережі та приділено увагу впливу на якість напруги.

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної магістерської роботи є дослідження можливості балансування режимів електроенергетичних систем з фотоелектричними станціями.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні завдання**:

- аналіз технологій акумулювання енергії;
- визначення оптимальної ємності накопичувача електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії;
- визначення оптимальної ємності накопичувача у розподільних електричних мережах 0,4 кВ;

**Об'єктом дослідження** магістерської роботи є розподільні електричні мережі, а **предметом дослідження** – методи та засоби балансування режимів електроенергетичних систем з фотоелектричними станціями.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ

### 1.1 Основні типи накопичувачів електричної енергії

Для сучасної енергетики велике значення мають вимоги по якісних показниках електроенергетичних установок. У цьому плані зростає роль накопичувачів енергії, так як вони дозволяють реалізувати оптимальні по умові мінімум втрат режими роботи обладнання.

Взаємозв'язок параметрів накопичувача при заряді  $t_3$  та розряді  $t_p$  визначається співвідношенням енергобалансу

$$\overline{M}_3 \cdot t_3 \cdot \eta = \overline{M}_p \cdot t_p \quad , \quad (1.1)$$

де  $\overline{M}_3$ ,  $\overline{M}_p$  - середні значення потужності зарядного і розрядного процесів;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії накопичувача.

Цей вираз може бути також записаний для миттєвих значень потужності

$$\int_T M_3(t) \cdot \eta_3(t) \cdot dt = \int_T M_p(t) \cdot \eta_p(t) \cdot dt \quad , \quad (1.2)$$

Значення  $t_3$ ,  $t_p$ , а також енергетичні показники якості  $\eta_3$  та  $\eta_p$  при заряді і розряді можуть сильно різнитись і тому існує декілька головних напрямів використання накопичувачів. Їх роль зводиться до акумулювання надмірної енергії при відключенні значної частини споживачів і подальшого використання накопиченої енергії в періоди інтенсивного енергоспоживання. Звичайно  $t_3$  та  $t_p$  мають приблизно однаковий порядок, енергетичні показники при заряді і розряді близькі.

Накопичувачі поліпшують показники енергосистем при короткочасному включенні споживачів підвищеної потужності, компенсують пікові навантаження, підвищують стійкість роботи енергоустановок і систем електроживлення, будучи демпфуючими елементами між генеруючими установками і споживачами в нестационарних режимах.

Для всіх типів накопичувачів необхідне узгодження їх характеристик з параметрами джерел енергії, навантажувальних елементів, комутаційної апаратури.

### 1.1.1 Індуктивні накопичувачі енергії

Індуктивний накопичувач електричної енергії (*ІНЕ*) являє собою котушку з індуктивністю  $L$ , по якій тече струм  $i$  (рис. 1.1). В результаті створиться магнітне поле з накопиченою енергією

$$E = \frac{L \cdot i^2}{2}, \quad (1.3)$$

*ІНЕ* крім індуктивної котушки містить джерело живлення *ДЖ*, комутатори *K1* і *K2*, навантаження *H*. При підключенні накопичувача до джерела живлення з допомогою *K1* відбудеться заряд *ІНЕ* за час  $t_3$ . При замиканні комутатора *K2* і розмиканні *K1* накопичена енергія передається навантаженню протягом часу  $t_p$ . Якщо  $t_p < t_3$  (потужність *ІНЕ* при розряді істотно більше потужності заряду), то *ІНЕ* можна використати як трансформатор потужності. З моменту замикання *K2* і розмикання *K1* працює як джерело струму. Тому з допомогою *ІНЕ* можна забезпечити перетворення електричної енергії з підвищенням потужності і напруги.

До переваг вищенаведеної схеми можна віднести використання при заряді і розряді тільки одного комутатора, а до її недоліків - замикання розрядного струму при підвищеній напрузі через джерело живлення. Енергію яку

*ИНЕ* передає навантаженню за один цикл, можна за виключенням втрат визначити як  $E = 0,5 \cdot L \cdot (I_{\max}^2 - I_{\min}^2)$ . Ця схема раціональна при частотах більших за 1 Гц.

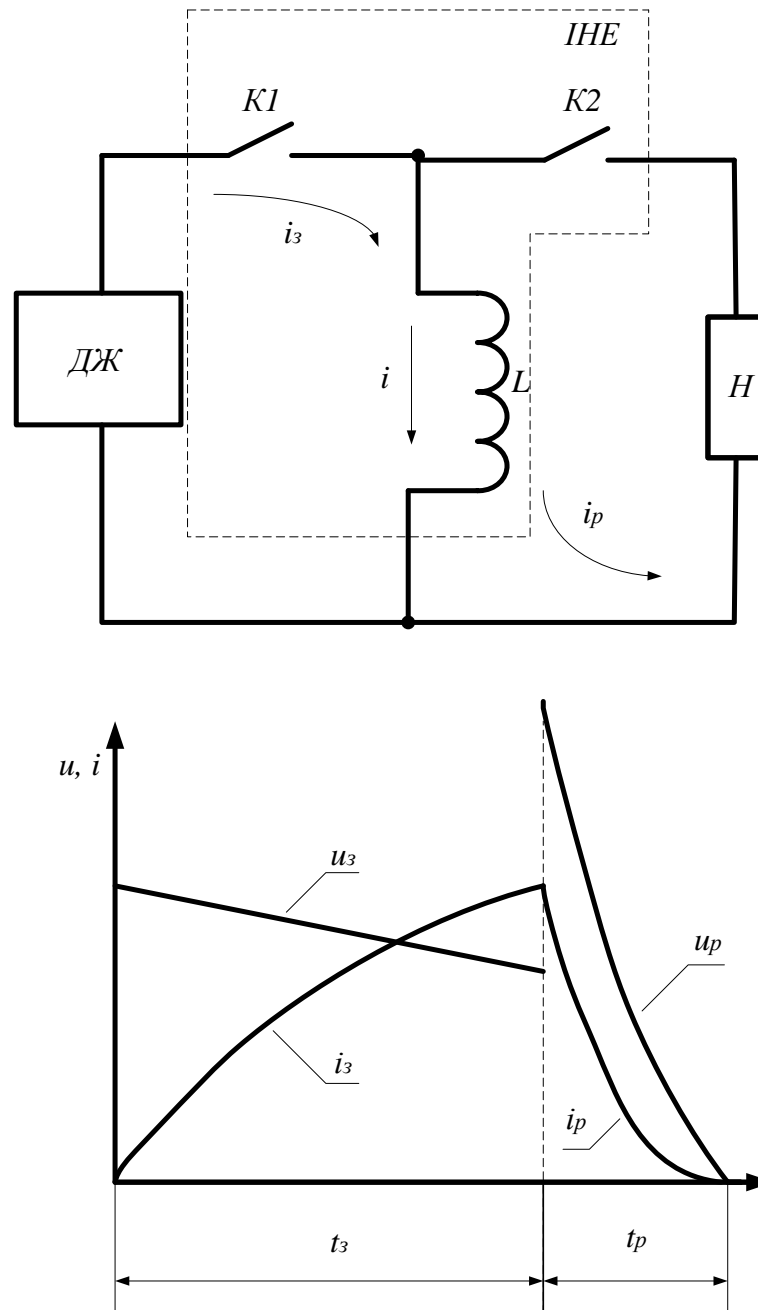


Рисунок 1.1 - Схема установки з індуктивним накопичувачем енергії та характер зміни струмів та напруги

Перспективним напрямком є впровадження надпровідникових індуктивних накопичувачів енергії (*НП ИНЕ*).

У *ІНЕ* крім надпровідників використовують гіперпровідники (кріопровідники), одним з яких є надчистий алюміній (99.999%) з температурою 20-30 К (охолоджують, наприклад, рідким воднем або неоном). Опір гіперпровідника в тисячі разів менший в порівнянні з його опором при нормальній температурі. Це дозволяє отримувати щільність струму того ж порядку, що і в надпровідниках. При великій щільності струму необхідно відводити істотно великі омичні втрати, оскільки гіперпровідник має кінцевий опір. Кріопровідникові накопичувачі досягають значень питомої енергії порядку 20-50 Дж/г при коефіцієнті корисної дії накопичення енергії приблизно 95%.

### 1.1.2 Ємнісні накопичувачі енергії

Ємнісні накопичувачі енергії (*ЄНЕ*) акумулюють енергію електростатичного поля. Їх ефективність тим вище, чим більша місткість конденсатора  $C_n$  і напруга  $U_p$  перед розрядом. Тому в класичних *ЄНЕ* застосовуються високовольтні конденсатори. В молекулярних конденсаторах значення питомої енергії на один - два порядки вище, ніж в інших конденсаторах. В зв'язку з цим на основі цих конденсаторів розроблені ефективні схеми *ЄНЕ*.

Перевагою *ЄНЕ* є їх високий коефіцієнт корисної дії, значення якого для зарядно-розрядного циклу 88-90 %. Час зберігання енергії - до 100 годин. Ємнісні накопичувачі характеризуються малим внутрішнім опором, що дозволяє досягати питомої потужності імпульсного розряду порядку 100 Вт/см<sup>3</sup>. *ЄНЕ* не мають негативного екологічного впливу, пожежо і вибухобезпечні. Недоліком *ЄНЕ* є їх багатомодульна конструкція (контактні з'єднання обмежують надійність всього пристрою), складність додаткових пристроїв для регулювання процесів заряду і розряду накопичувача і зміни полярності батареї при перемиканні із заряду в розряд.

### 1.1.3 Інерційні механічні енергоакумулюючі системи

Інерційні механічні енергоакумулюючі системи, до яких належать маховикові накопичувачі енергії (*МНЕ*), нагромаджують механічну енергію в маховику (системі маховиків). При дослідженні *МНЕ* необхідний комплексний підхід до оцінки характеристик основних елементів, в зв'язку з динамічним характером їх робочого процесу, впливу експлуатаційних умов і характеристик систем накопичення загалом, призначення, невизначеності в послідовності виконання задач того або іншого призначення і т. п. Результатом є рекомендації по вибору раціонального складу енергоакумулюючої системи і оптимальних параметрів її основних елементів. Конструктивна форма конкретного *МНЕ* визначається його призначенням і умовами функціонування. Всі маховичні накопичувачі мають загальні структурні і системні особливості - сукупність основних елементів і зв'язки між ними. Основний, найбільш характерний елемент системи - маховик, що виконує функції акумулятора енергії і джерела потужності. Маховик володіє наступними потенційно позитивними якостями:

- висока питома потужність зарядно-розрядних режимів;
- можливість реалізації автоматичного переходу з режиму акумуляування (заряду) на режим генерування (розряду) енергії, що забезпечує можливість ефективної рекуперації енергії;
- високий коефіцієнт корисної дії і стабільність характеристик в широкому діапазоні змін умов експлуатації (тиск, температура та інш.) при невеликому часі зберігання енергії;
- відсутність забруднень навколишнього середовища.

Механічну енергію, яку нагромаджують і віддають маховики, порівняно просто і з високим коефіцієнтом корисної дії можна перетворювати в інші види енергії. Крім того, маховик - єдиний накопичувач, що акумуляує, одночасно з енергією, і кінетичний момент, що створює ряд додаткових можливостей при застосуванні *МНЕ* в різних технічних пристроях.

Область практичного використання *МНЕ* поки обмежена через малі енергоємкісні показники монолітних маховиків, що зумовлено вимогами безпеки. Розвиток матеріалознавства і технології композиційних матеріалів дозволив створити на основі анізотропних матеріалів (з високою міцністю) безпечні маховики, що не поступаються за енергоємністю іншим накопичувачам енергії. Варіант структурної схеми маховичного накопичувача представлено на рис. 1.2. Для нагромадження енергії до маховика в фазі заряду приєднується з допомогою муфти розгонний двигун. Маховик розганяється до заданої кутової швидкості обертання. Як правило, при акумуляції електричної енергії, структура *МНЕ* така, що електричні машини можуть працювати як в режимі двигуна, так і в режимі генератора. Тому накопичену у фазі розгону енергію маховик через генератор, який до цього працював в режимі двигуна, віддає споживачу.

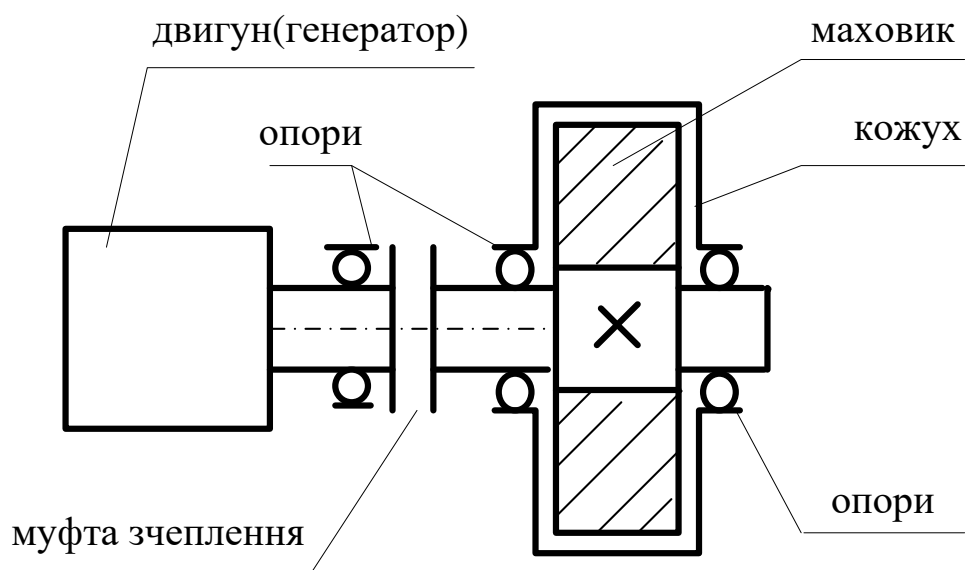


Рисунок 1.2 - Структурна схема *МНЕ*

Маховикові накопичувачі можна розділити на дві групи:

- динамічні накопичувачі енергії, які акумулюють кінетичну енергію обертання твердих тіл;



- комбіновані накопичувачі енергії, які запасують одночасно кінетичну енергію тіл, що обертаються і потенційну енергію пружності тіл.

Основною частиною МНЕ є маховики, що обертаються навколо своєї осі. Їх кінетичну енергію визначається як:

$$E_k = J \cdot \omega^2 / 2 \quad , \quad (1.4)$$

де:  $J$  - момент інерції тіла відносно осі обертання;

$\omega$  - кутова швидкість.

Ефективність маховиків як накопичувачів енергії доцільно оцінити по питомій енергоємності

$$e_{\max} = E / m = J \cdot \omega^2 / (2 \cdot m) \quad , \quad (1.5)$$

де  $J = \int_{V_m} r^2 dm;$

$r$  - відстань елементарної маси  $dm$  від осі обертання;

$V_m$  – об'єм маховика.

Величина  $J/(2m)$  характеризує форму маховика, а  $\omega_{\max}$  залежить від міцності його матеріалу. З цього видно, що енергетичні показники маховика забезпечуються обґрунтованим підбором конструкційних матеріалів і вибором доцільної конструктивно-силової схеми. Ці схеми маховиків можна розділити на три групи:

- монолітні маховики з ізотропних матеріалів (*ізотропія – однаковість фізичних властивостей в різних напрямках*);
- маховики з високоміцних анізотропних матеріалів (*анізотропія – неоднаковість фізичних властивостей в різних напрямках*);
- маховики з високоеластичних матеріалів.

Для акумулювання енергії перспективні два типи першої групи: маховики-диски і маховики-стержні (що обертаються навколо поперечної осі). Звичайно диски значно перевершують стержні по об'ємній ефективності. Їх енергоємнісні можливості визначаються міцністними характеристиками матеріалу.

Маховики другої групи мають схему, засновану на використанні високоміцних анізотропних матеріалів. Сучасні технології дозволяють досягати в подібних виробках (у вигляді волокон, проволоку, жгутів, стержнів, стрічок, пластин і т.п.) більш високих значень питомої міцності, ніж в монолітних елементах з аналогічних матеріалів. Існують гібридні конструкції, де застосовуються як монолітні, так і анізотропні матеріали. Звичайно внутрішня, менш напружена частина таких маховиків, як правило, є монолітною, а зовнішня - з анізотропних матеріалів.

Маховики з високоеластичних матеріалів типу гуми, дозволяють нагромаджувати кінетичну енергію обертання, потенційною енергію розтягнення і енергію пружних резонансних коливань, що приводить до значного підвищення енергоємності. Хоч ці маховики можна віднести до ізотропних, але по характеру робочих процесів вони представляють нову групу.

Області застосування варіантів маховиків визначаються на основі порівняння їх показників: питомої енергоємності  $E_H/m$  і об'ємної ефективності  $E_H/V_M$ .

Застосування анізотропних матеріалів є самим ефективним способом досягнення високих енергоємностей. Використання різнорідних волокон в якості армуючих елементів при виготовленні квазіізотропних дисків забезпечує необхідну згинаючу жорсткість. Найкращим поєднанням питомої енергоємності і об'ємної ефективності володіє маховик обідного типу. Так як втрати потужності в опорах пропорційні  $\omega$ , а аеродинамічні втрати пропорційні  $\omega^3$ , маховики обідного типу володіють ключовою перевагою, оскільки їх  $\omega_{\max}$ , внаслідок розміщення маси на периферії, становить приблизно

65 %  $\omega_{\max}$  маховики радикально-війорної схеми і майже вдвічі менше, ніж у квазіізотропного диска.

Розрив монолітних маховиків пов'язаний з виникненням важких осколків. Це вимагає вводити при їх проектуванні високі запаси міцності і передбачати відповідні огорожі, що приводить до істотного зниження енергоємних показників. Ниткоподібні матеріали, при перенарузі перетворюються в порошок або дрібні частки, а їх енергія розсіюється тертям так, що лише декілька її процентів передається корпусу. Імовірність руйнування через місцевий дефект матеріалу волокна для маховика стрижневого типу менше, тому що максимальне напруження в ньому досягається в перетинах елементів, які знаходяться ближче до центра обертання, а напруження на його зовнішньому кінці дорівнює нулю. В ободном маховику його волокна працюють при максимальних напруженнях по всій периферії обода.

Основною перевагою маховиків квазіізотропної конфігурації є високий рівень об'ємної ефективності, що дозволяє створювати компактні системи. З іншого боку, при його руйнуванні утворюються високоенергетичні осколки, вся енергія виділяється одночасно і її розсіяння ускладнено.

Для електричної тяги потрібні накопичувачі енергії великої енергоємності. Дослідження і розробки енергоакумуючих систем направлені на розв'язання двох проблем: забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів шляхом підвищення економічності енергосистем і створення транспортних засобів, що не забруднюють атмосферу. Оцінка раціональності застосування системи виконується на основі узагальнених критеріїв (питома енергоємність і потужність, кількість циклів заряду і розряду, коефіцієнт корисної дії циклу, час зберігання енергії і т.п.).

## **1.2 Види електрохімічних акумуляторів**

З розвитком використання електромобілів, відновлювальних джерел енергії та в загальному ще більша електрифікація суспільства потребує накопичення енергії, що стимулює науковців та підприємців до збільшення темпів росту технологій виготовлення і покращення показників батарей для потреб людства.

На ринку АКБ для ВДЕ найпоширенішими пропозиціями є:

- Свинцево-кислотні батареї
- Нікель-кадмієві батареї
- Нікель-метал-гібридні батареї
- Літій-іонні батареї

На рис.1.3 показано перспективи використання типів акумуляторних батарей на ринку електроенергії.

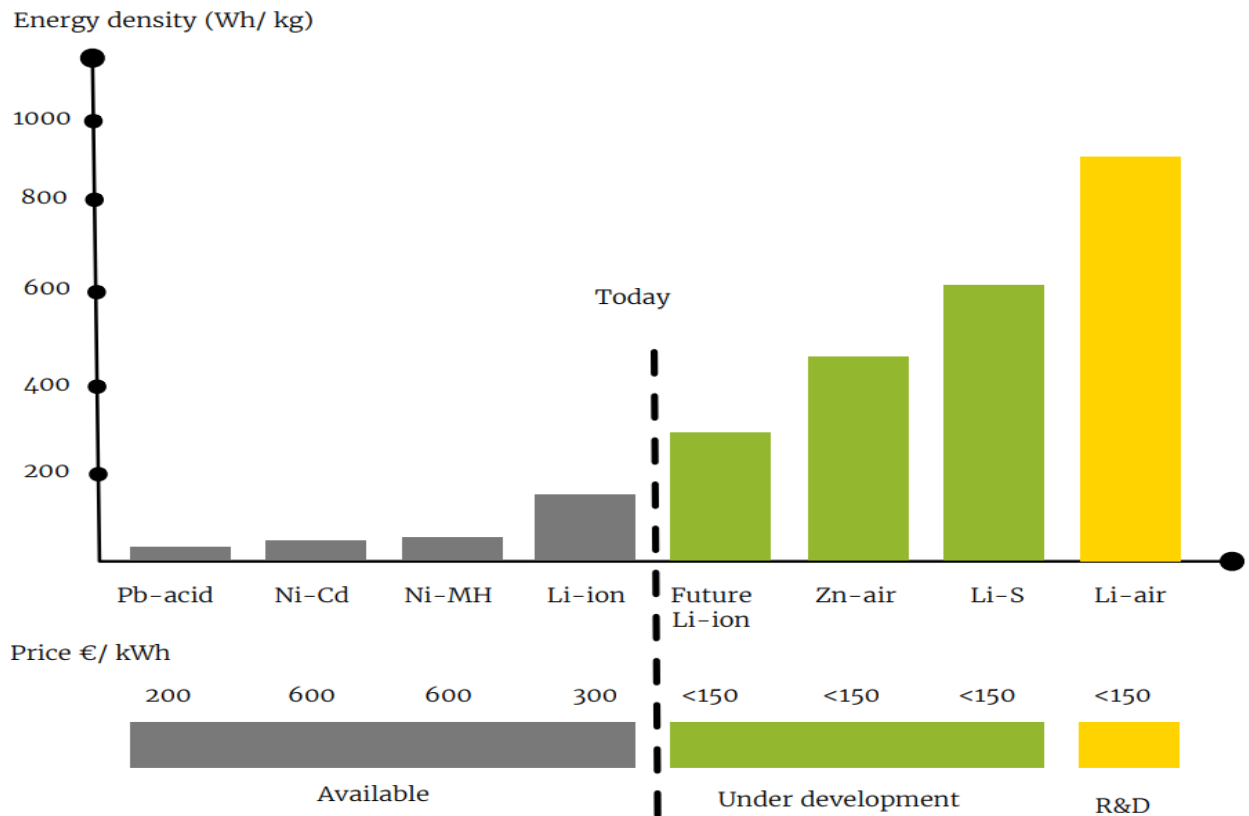


Рисунок 1.3 – Сьогоднішні та майбутні технології батарей

### 1.2.1 Свинцево-кислотні батареї

Свинцево-кислотні батареї є найпоширенішими у фотоелектричних системах. Головним чинником цього є їх міцність, дешевизна та налагоджений технологічний процес виготовлення та використання. Їх винайшли ще у 1859-1860 роках науковець Гастон Планте, що був співробітником у Олександра Беккереля, а вже у 1878 році Камілл Фор розробив нову конструкцію, де використовується решітчаста пластина, що містила оксид свинцю.

Найпростіша конструкція СКБ містить в собі 3 головних елементи (рис.1.4) :

- Металеву пластину зі свинцю та сурми з негативним зарядом;
- Позитивно заряджена металева пластина з діоксиду свинцю;
- Суміш сірчаної кислоти та води.

Пластина, що містить негативний заряд – це анод, а позитивний відповідно катод, суміш води та кислоти являється електролітом.

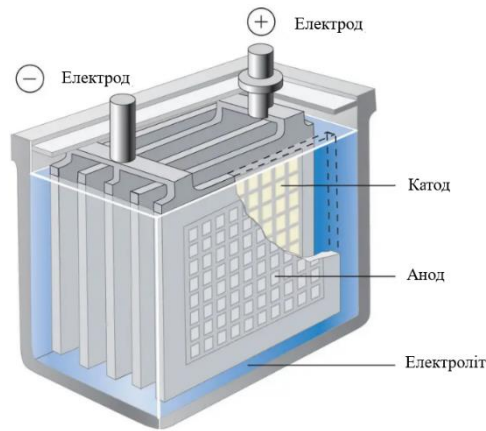
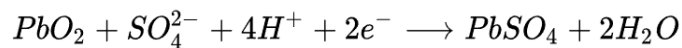


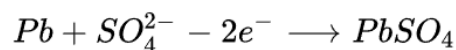
Рисунок 1.4 – Конструкція найпростішої СКБ

З хімічної точки зору у даному типі батарей проходить така реакція:

- На аноді



- На катоді



На разі виділяють 3 види СКБ:

- Залиті свинцево-кислотні акумулятори;
- Акумулятори з абсорбуючим скломатом;
- Гелеві батареї.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки свинцево-кислотних батарей

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Середній термін служби близько 1000-1500 циклів при 80% глибині розряду( IEC Market</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Рекомендована добова глибина розряду 30-40%, та для резервних 70%</li> <li>• Потреба в догляді, причина</li> </ul>

<p>Strategy Board, 2011)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Свинцево-кислотні батареї зазвичай мають кулонівський ККД 85% і енергетичний ККД близько 70%.</li> <li>• Низька вартість виготовлення</li> <li>• Високий термін використання при розрядженні не більше ніж до половини буде становити 6-8 років, з новими технологіями та програмним забезпеченням термін служби збільшився від 10 до 15 років та більше ( для гелевих )</li> <li>• Рівень саморозряду, що складає близько 3% в місяць</li> <li>• Хороший діапазон робочих температур , що складає від -10°C до 40°C , де оптимальною температурою є 20°C</li> <li>• Розвинена інфраструктура утилізації СКБ</li> </ul>	<p>якому є утворення свинець-сульфату та випаровування електроліту</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Велика вогненебезпечність та токсичність викидів</li> <li>• Чутливість до зміни температури середовища використання, зменшення ємності при 15°C та нижче</li> <li>• Швидкість заряджання до 80% становить близько 4-6 годин , та до 100% 12-15 годин відповідно.</li> <li>• Невелика щільність , що складає близько 40Вт/кг, звідки висновок, що для великої потужності буде потреба у великому об'ємі</li> </ul>
---	---

### 1.2.2 Нікель-кадмієві батареї

Винайдена у 1899 році Вельдмарем Юнгнером (Швеція) та дороблена двома роками потому Едісоном, що використав альтернативну конструкцію, замінивши кадмій залізом, технологія не набула великого використання. Причиною цього була дороговизна їх виготовлення, що й зберігається до наших часів (рис.1.5).

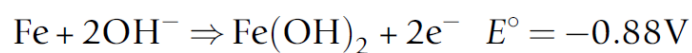
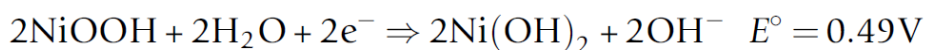
Проривом для даного типу АКБ був 1947 рік, коли Ньюман використав повністю герметичну оболонку та спресований анод, що призвело до більшого струму навантаження та кращої безпечності використання.



Рисунок 1.5 – Нікель-кадмієва батарея 12В

Проблеми з якими зіштовхнулися науковці є невеликий заряд в 1.2-1.3В, що тягне за собою потребу в більшій кількості елементів для створення потрібної напруги. Для прикладу для отримання 12В нам потрібно 10 елементів, а не 6 – як для свинцевих.

Це пояснюється з хімічної точки зору реакція, що проходить на катоді та аноді відповідно являють собою:



Що в сумі буде давати теоретичні 1.37В.

Таблиця 1.2 – Переваги та недоліки нікель-кадмієвих батарей

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> <li>Високий температурний діапазон, від <math>-40^\circ\text{C}</math> до <math>50^\circ\text{C}</math>, що є одним з найкращих показників.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Проблема заряджання даного типу батарей, потреба в 1.5 рази більшої напруги, що</li> </ul>



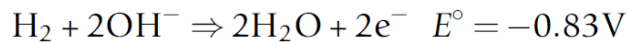
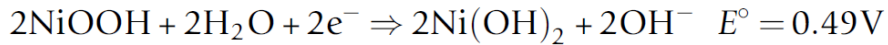
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Більша щільність заряду по відношенню до СКБ, 45-55 Вт/кг</li> <li>• Вимагають відносно мінімального обслуговування, близько 4 років без доливки електроліту</li> <li>• Довгий життєвий цикл, що складає близько 500-1500 циклів при 80% розряді, а з розвитком технологій і програмного забезпечення сягає близько 8000 циклів при 15% розряду.</li> <li>• Великий термін експлуатації, що становить в середньому 20-25 років</li> <li>• Простота у зберіганні до використання, яка є майже необмежена у часі</li> <li>• Дуже малий внутрішній опір</li> </ul>	<p>погано впливає на різну техніку</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ефект депресії напруги, який помилково називають «ефектом пам'яті» (рисунок 9) Тобто при зменшенні заряду в межах 70-80%, напруга буде становити близько 1.05В на елементі, отже буде складатися враження, що він розряджений</li> <li>• Велика токсичність кадмію та проблема перероблення даного типу батарей</li> <li>• Висока вартість близько 550-600\$ за 1 кВт/кг</li> <li>• Мала енергоефективність - 75%, тобто витрата великої кількості енергії на заряджання</li> <li>• Високий рівень саморозрядження – 15-25% у місяць</li> </ul>
--	---

### 1.2.3 Нікель-метал-гібридні батареї

Нікель-метал-гібридні батареї сконструйовані, так само як і нікель-кадмієві, але замість кадмію використовується метал-гібрид, що поглинає водень.

NiMH-елементи були представленні у 1989-1990 році та показали майже 170% збільшення щільності енергії порівняно з NiCd. Даний вид став першим вибором для електромобілів та аерокосмічних застосувань у період з 1990-2005 рік, так як задовільнив потреби в гравіметричній щільності та розмірі батареї.

Наведемо хімічні реакції при розряджанні на катоді та аноді відповідно:



На рисунку 1.6 наведено порівняння профілю напруги розряду батарей NiCd 700 mAh та NiMH 1100 mAh, де явновираженою характеристикою є більш пологий спад напруги на метал-гібриді.

Рисунок 1.7 показує, що NiCd та NiMH елементи заряджаються подібним чином, однак негативна зміна напруги NiCd елементів при досягненні повного заряду є більш вираженою і може бути використана для виявлення 100% заряду.

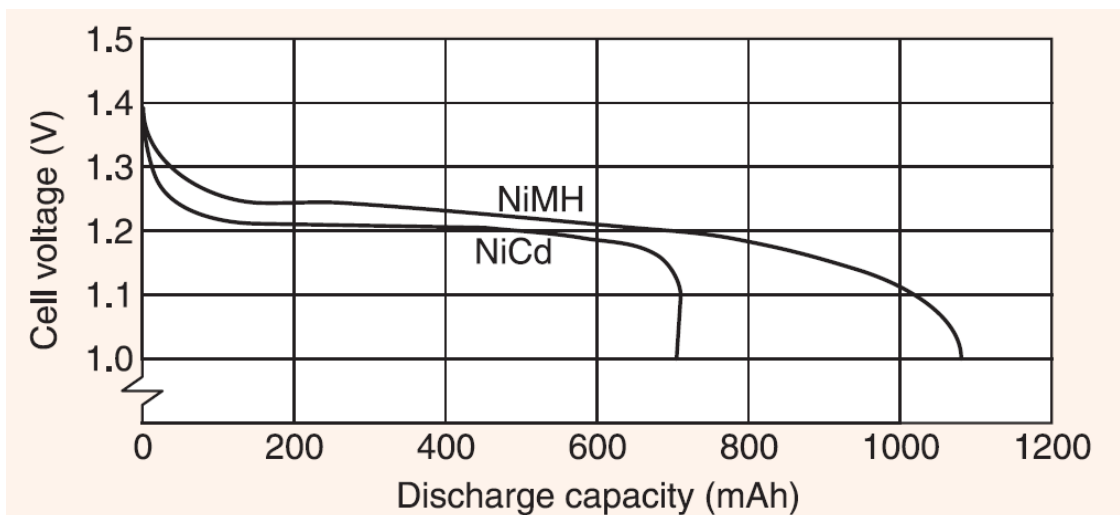
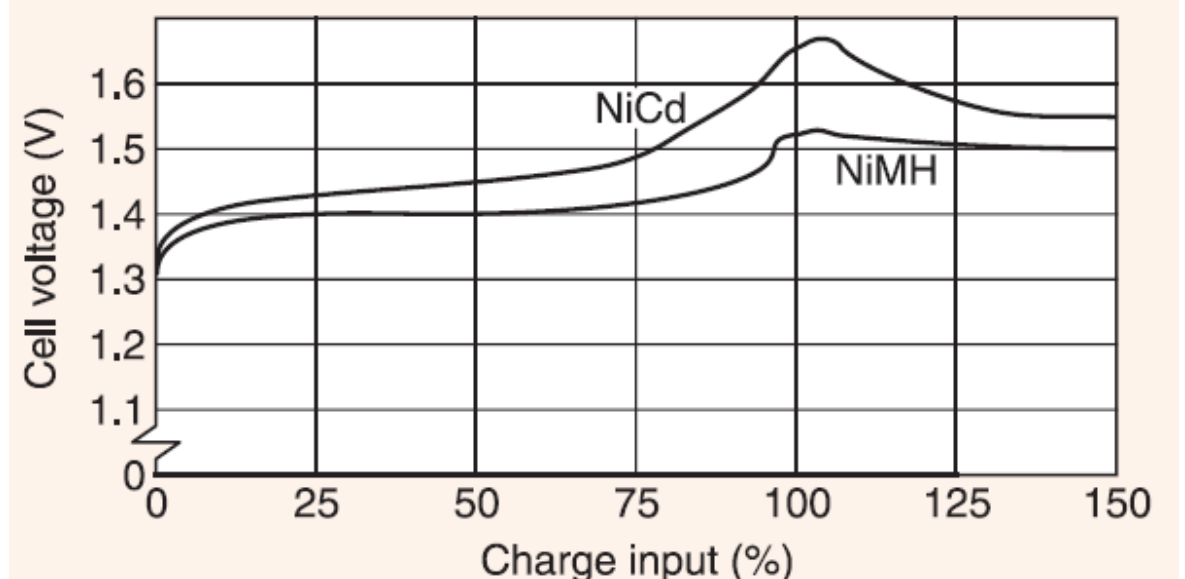


Рисунок 1.6 – Графік напруги розрядження NiCd та NiMH батареї



## Рисунок 1.7 – Графік напруги при заряджанні батареї

Таблиця 1.3 – Переваги та недоліки нікель-метал-гібридних батарей

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Більша щільність заряду по відношенню до СКБ, 60-80 Вт/кг</li> <li>• Великий діапазон температурного режиму -20°C до 50°C</li> <li>• Середній допуск до перезаряду</li> <li>• Менш виражений ефект деградації напруги</li> <li>• Великий термін експлуатації – 8-12 років</li> <li>• Довгий життєвий цикл, що становить близько 1500 перезаряджень при 80% розряду при правильній експлуатації</li> <li>• Менші обмеження, щодо експлуатації відносно кадмієвих</li> <li>• Трішки більша енергоефективність відносно кадмієвих 80%</li> <li>• Менша токсичність відносно кадмієвих</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обмежений термін експлуатації при: багаторазовому глибокому циклі, при високих струмах навантаження після яких він становить близько 200-300 циклів</li> <li>• Обмежений струм розряду, що становить не більше ніж 0.5C(C-номінальна ємність)</li> <li>• Довгий час перезаряджання, більшай за кадмієві</li> <li>• Високий саморозряд 20-25% у місяць</li> <li>• Велика вартість за одиницю потужності на вагу 600-650\$ за 1 кВт/кг</li> <li>• Мала напруга елемента, що становить 1.2В при середньому розряді</li> </ul>

### 1.2.4 Літій-іонні батареї

Літій-іонна батарея – це передова технологія, яка використовує іони літію, як ключовий компонент електрохімії. Вона була винайдена на початку 1970-х років британо-американським хіміком М. Стенлі Вітінгем, коли він відкрив спосіб зберігання йонів літію в шарах дисульфідного матеріалу. Після ще одного дослідження вченого Й. О. Базенхардом, щодо оборотної інтеркаляції в графіті, спроможність реалізації даного типу батарей стала більш вірогідною.

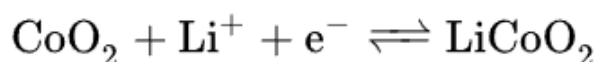
У 1991 році вперше випустили комерційний літій-іонний акумулятор компанії Sony та Asahi Kasei.

На сьогоднішній день, це є одна з найперспективніших технологій, яка розвивається з ростом попиту на електромобілі, портативний електронних засобах та відновлювальних джерел енергії. Вони мають найбільшу щільність та вважаються безпечними, відносно нікелевих, тому ЄС не накладає великий податок на даний виріб.

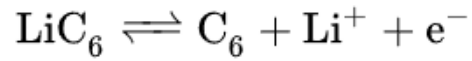
Цікавим є те, що і катод і анод містять літій у своєму складі, де іони Li рухаються від анода до катода, де вони рекомбінуються зі своїми електронами і проходить процес нейтралізації.

Наведемо електрохімічні реакції на найпоширенішому типі літій-іонних батарей, а саме коли оксид літій-кобальту є катодом, а графіт – анодом відповідно.

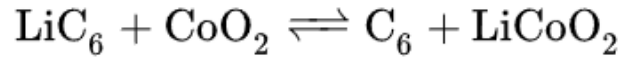
Напівреакція позитивного електрода ( катода) у підкладці з оксиду кобальту, що містить літій



Напівреакція негативного електрода ( анодом) з літій-графіту:



Повна реакція



При даній електрохімічній реакції різниця потенціалів , буде близько 3.6-4В , що більше у 3 рази супроти нікелевих елементів, та у майже 2 рази ніж у свинцевих.

На даний момент ринок може запропонувати такі види літієвих акумуляторів:

- Літій-кобальт-оксид
- Літій-оксид марганцю
- Літій-нікель-оксид марганцю та кобальту
- Літій-залізо-фосфат
- Літій-титан

Таблиця 1.4 – Типи ліній-іонних батарей з коротким описом

Тип	Опис
$\text{LiCoO}_2$	Катод має шарувату структуру. Їх недоліком є відносно короткий термін служби, низька термостабільність та обмежені можливості навантаження.
$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	Вперше були опубліковані у 1983 років. Конструктивно має структуру шпінелі, яка показує потік іонів електродів, що призводить до зниження опору та збільшення максимального струму розряду. Також перевагою є висока термостабільність, підвищена безпека, але цикл та термін служби зменшений.
$\text{LiNiMnCoO}_4$ або (NMC)	Є однією з найуспішніших літій-іонних систем. Повторюють усі переваги марганцевих, при більшому циклі та терміні служби.
$\text{LiFePO}_4$	У 1996 році в Техаському університеті використали фосфат, як матеріал для катоду. Літій-фосфат забезпечує хороші електрохімічні характеристики з низьким опором, що досягається нанорозмірним катодом. Перевагами є високий номінальний струм і тривалий термін служби, а також нормальна термічна стабільність, підвищена безпека та стійкість до зловживань
$\text{Li}_2\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	Це є першим літій-іонним акумулятором. Титак замінює графіт в аноді, а катодом може бути або $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , або NMC. Перевагами є швидкість заряджання та високий номінальний струм в 10С, дещо більша кількість циклів відносно типового Li-іон та дуже високі показники роботи при низьких температурах, а саме 80% ємності при -30 градусах Цельсія. Ціною даних характеристик є номіальна напруга в 2.4 В та дуже важке виробництво.

Таблиця 1.5 – Переваги та недоліки літій-іонних батарей

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Найбільша щільність, що складає близько 100-265 Вт/кг</li> <li>• Нормальна вартість на одиницю потужності на вагу 300\$ за 1кВт/кг</li> <li>• Середній термін експлуатації 5-10 років</li> <li>• Велика швидкість та струм розрядження, що в середньому 2-3С</li> <li>• Простий алгоритм зарядки та досить короткий час цього</li> <li>• Низький рівень саморозряду 1-3% на місяць</li> <li>• Низька токсичність, що полегшує утилізацію</li> <li>• Відсутність деградації напруги при нормальному режимі роботи</li> <li>• Дозволенна денна глибина скидання (DoD) складає 80-90%</li> <li>• Високий кулонівський ККД 90-98% в залежності від типу</li> <li>• Висока напруга елемента 3.7В</li> <li>• Малі габаритні розміри по відношенню до СКБ, що будуть в 2-4 рази більші при однаковій потужності</li> <li>• Часткове зарядження не є критичним для даного типу АКБ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Термочутливі до навколишнього середовища, при низьких температурах зменшується ємність батареї (рисунок 1.8), обмежується струм розрядження та особливо зарядження, що є небезпечним для них</li> <li>• Деградація та старіння при високій або температурі або напрузі зарядження ( більше ніж 4.2В)</li> <li>• Вогнебезпечність</li> <li>• Високий внутрішній опір</li> </ul>

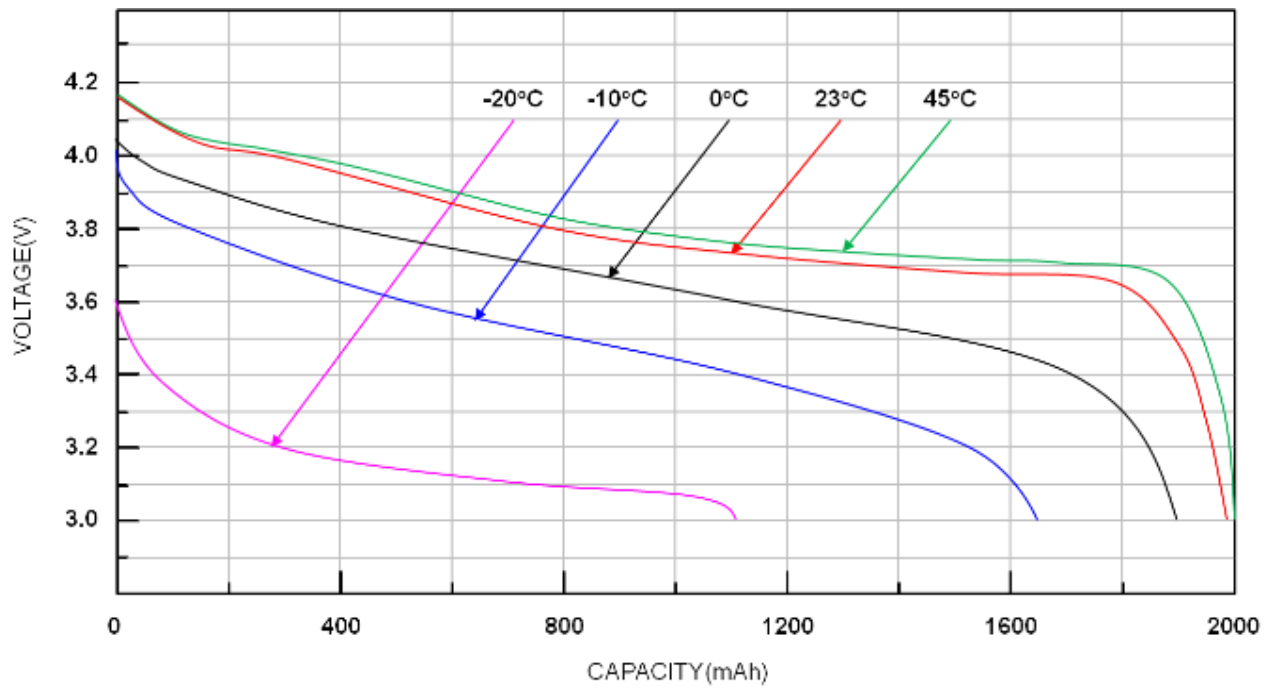


Рисунок 1.8 – Графік залежності напруги та ємності батареї при зміні температури середовища при номінальних 2000 mAh



## РОЗДІЛ 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

#### 2.1 Визначення оптимальної ємності накопичувача для інтегрованих систем електрозабезпечення

Інтенсивний розвиток відновлюваної енергетики, особливо сонячних електричних станцій (СЕС) і вітрових електричних станцій, створює ризики порушення балансової надійності енергосистеми. Для забезпечення подальшого зростання частки ВДЕ, необхідно збільшити обсяг первинного та вторинного регулювання і резерву заміщення.

Необхідність розвитку сфери використання систем акумулювання електроенергії необхідно у першу чергу, через світову тенденцію до збільшення попиту на електроенергію та кількості об'єктів електрогенерації з відновлюваних джерел.

При злагодженій роботі, електроакумулюючі системи сприятимуть стабільному функціонуванню енергосистеми, зменшенню дисбалансів у мережі, викликаних нерівномірними навантаженнями від споживачів, і збереженню темпів введення об'єктів відновлюваної електроенергетики.

Використання ВДЕ має ряд позитивних якостей, які забезпечують їх активний розвиток. Зокрема можна визначити: відсутність екологічних забруднень у ході експлуатації, повсемісне використання, мала необхідність у технічному обслуговуванні й інші. Поряд із позитивними властивостями є ряд недоліків, основним з яких є недостатня прогнозованість обсягів генерації в залежності від часу та вплив на безпеку електропостачання [5– 7]. Але інтегрувавши в систему генерувальної установки НЕ, можна суттєво зменшити негативний вплив фактору непрогнозованої генерації [8–10]. Застосування НЕ допомагає накопичувати надлишки, які генеруються ВДЕ та використовувати

накопичену енергію у моменти дефіциту та/або відсутності генерації від ВДЕ [11].

Інтеграція НЕ, на базі АБ, у структуру схем СЕС є перспективним напрямком, оскільки дає можливість вирішити ряд проблем, які виникають в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) під впливом роботи у ній СЕС.

У першу чергу, акумулювання електричної енергії дає змогу коригувати графік вихідної потужності, відповідно до потреб інших споживачів оператора системи розподілу (ОСР), до мереж якого підключено СЕС. При встановленні НЕ до структури СЕС, збільшується встановлена потужність маневрених потужностей регіону, які є невід'ємною частиною ОЕС, у вигляді гідро та тепло електричних станцій (частково маневрені), ГАЕС, газотурбінних установок.

Для оператора ОЕС наявність СЕС дає змогу уникнути недовідпуску електроенергії у періоди, коли ОСР встановлює граничні межі максимальної потужності. Також з'являється можливість у виставленні мінімальної потужності СЕС у точці приєднання до мереж ОСР. Керування величиною потужності прямо впливає на рівень напруги в точці приєднання. Тобто інтегрування НЕ до структури електроустановок СЕС дає можливість керування такого показника якості електроенергії, як відхилення напруги.

Використання НЕ з керованими інверторами, які описано, дасть можливість керувати рівнем коефіцієнта потужності у точці приєднання СЕС.

Питання гарантованого забезпечення постачання електричної енергії споживачу, яке працює в автономній системі ВДЕ-НЕ-споживач, є основним критерієм при виборі встановлених потужностей генератора на основі ВДЕ й ємності НЕ [12]. Також застосування НЕ дає можливість знизити коливання напруги в системі ВДЕ-споживач [14].

У результаті аналізу параметрів сучасних НЕ, АБ різних типів, з урахування питомого показника енергоємності 30–400 Вт·год/кг та кількості життєвих циклів 500–1200, можна вважати найбільш придатними для тривалого використання у системі ВДЕ-НЕ-споживач. Одним із шляхів вирішення завдання забезпечення гарантованого електропостачання є вибір

такого НЕ, який забезпечить накопичення всього надлишку енергії, згенерованої ВДЕ та спожитої навантаженням [15]. Важливою властивістю системи ВДЕ-НЕ-споживач є постійна наявність надлишку генерації, яку можна використати у період дефіциту та/або відсутності генерації від ВДЕ. Визначення параметрів НЕ для покриття потреб автономного споживача є достатньо важливим і у той же час недостатньо опрацьованим питанням. Тому актуальним питанням залишається використання НЕ у складі *ЕН* [17], який має власні НЕ та взаємодіє з енергосистемою на різних ринкових умовах [18].

Необхідно враховувати, що існують обмеження, які не дають можливості використати всі 100 % закумульованої енергії в АБ, що обумовлено типом накопичувача [19].

Заряд кожної АБ можна розділити на дві умовні частини. Перша частина це номінальний рівень максимально допустимого розряду (глибина розряду) – *MDOD (maximum depth of discharge)* для певного типу АБ, який є відносною величиною та для більшості типів сучасних АБ  $MDOD = 0,7 - 0,8$ . Всі виробники АБ у технічних паспортах свого обладнання вказують *MDOD*, як ступінь розряду при якій АБ пропрацює найменшу кількість циклів заряд/розряд. Тобто при розряді глибшому за *MDOD* швидкість зносу АБ збільшується. Логічно буде стверджувати, що існує певна відносна величина мінімального ступеню заряду АБ, який повинен постійно зберігатись в АБ *MSOC (minimum state of charge)*. Отже для кожного окремого типу АБ можна записати вираз:

$$MSOC + MDOD = 1. \quad (2.1)$$

Числове вираження енергії, яка міститься в АБ, можна визначити арифметичним множенням значення ємності АБ на значення напруги між її клемми. Зазвичай для АБ використовують визначення номінальної ємності, та подають її в «А·год». Тому в процесі експлуатації зручніше оперувати не ємністю АБ, а її зарядом. У залежності від режимів експлуатації, які постійно

змінюються (заряд–розряд), значення заряду, тобто кількість закумульованої енергії, змінюється. Оскільки в кожен момент часу, ми будемо мати різні значення електричного заряду (А·год), його можна чисельно виразити через безрозмірну величину *SOC (state of charge)* – відношення поточного заряду АБ до її номінальної ємності. Поряд із *SOC* існує величина *DOD (depth of discharge)* – відношення ступеню розряду АБ до її номінальної ємності. Тобто у кожен момент часу АБ можна описати виразом

$$SOC(t) + DOD(t) = 1. \quad (2.2)$$

З формули (2.2) випливає, що повністю зарядженій АБ відповідає значення  $SOC(t) = 1$  та  $DOD(t) = 0$ . А повністю розрядженій АБ –  $SOC(t) = 0$  та  $DOD(t) = 1$ .

З вищесказаного видно, що існує діапазон ступенів заряду АБ в якій вона буде працювати без збоїв, назовемо її *NRM (normal run mode)*. *NRM* є діапазоном від повного заряду АБ до *MSOC*, що можна описати наступним чином

$$NRM \in [MSOC; 1]. \quad (2.3)$$

Тобто у чисельному виразі *NRM* можна визначити як

$$NRM = MSOC - 1 = MDOD \quad . \quad (2.4)$$

Зміну *SOC* на послідовних інтервалах часу з тривалістю *t* можна виразити залежністю

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \frac{A_{RES}(t) - \left[ A_{load}^{DC}(t) + \frac{A_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right]}{V_{bat} C_{bat}}, \quad (2.5)$$

де  $A_{RES}(t)$  – обсяг енергії, виробленої ВДЕ;

$A_{load}^{DC}(t)$  – обсяг енергії, спожитий навантаженням (верхні індекси  $DC$  та  $AC$  застосовуються до постійного та змінного струмів відповідно);  $\eta_{inv}$  – ККД інвертора;  $V_{bat}$  – напруга на клеммах масиву АБ;  $C_{bat}$  – ємність масиву АБ.

Необхідно зазначити, що підібрана ємність масиву АБ, на всьому циклі роботи, при безперебійному постачанні електричної енергії навантаженню, повинна перебувати в зарядженому стані.

Це твердження можна представити виразом

$$\forall SOC(t) = MSOC. \quad (2.6)$$

При цьому стан АБ можна описати залежністю критерієм інваріантності  $SOC$

$$SOC(t_0) = SOC(t_T). \quad (2.7)$$

У залежності (2.7)  $t_0$  – початок періоду роботи ВДЕ з АБ, тобто початок розрахункового циклу. З урахуванням формули (2.7) залежність (2.5) буде мати вигляд

$$SOC(t_T) = SOC(t_0) + \frac{A_{RES}(t) - \left[ A_{load}^{DC}(t) + \frac{A_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right]}{V_{bat} C_{bat}}. \quad (2.8)$$

При цьому умова (2.7), з урахуванням (2.8), дає залежність

$$\sum_{t=t_i}^{t_T} \left\{ A_{RES}(t) - \left[ A_{load}^{DC}(t) + \frac{A_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}} \right] \right\} = 0. \quad (2.9)$$

Залежність (2.9) дає можливість визначити необхідне значення  $A_{RES}(t)$  для ВДЕ й обрати відповідні технічні засоби його реалізації відповідно до потреб живлення навантаження споживачів електричною енергією.

Тобто з використанням залежності (2.9) можна визначити у даному випадку кількість фотоелектричних панелей певного типу, які забезпечать виробництво електричної енергії, обсяг якої обумовлює її споживання.

Оскільки  $A_{RES}(t)$  змінюється випадковим чином, енергія, яку накопичує/віддає АБ може бути визначена, коли рівність (2.9) у залежності (2.7) не виконується, тобто утворюється надлишок/дефіцит електричної енергії виробленої ВДЕ. Енергія  $A_{RES}(t)$ , яку накопичує/віддає АБ, може бути визначена відповідно до (2.9) залежністю

$$A_{bat}(t) = A_{RES}(t) - A_{load}^{DC}(t) + \frac{A_{load}^{AC}(t)}{\eta_{inv}}. \quad (2.10)$$

Залежність (2.10) дає можливість визначити ємність АБ, якщо вона є постійною величиною, шляхом ділення правої та лівої частин цієї залежності на  $V_{bat}C_{bat}$ . Однак, за результатами досліджень (ресурс), відомо, що в залежності від зарядного струму ( $I^+$ ) АБ буде мати різну ємність; у залежності

від стану зарядженості  $SOC(t)$ , на клеммах масиву АБ напруга буде змінюватись. Змінюється ємність АБ також під дією температури навколишнього середовища та терміну експлуатації – деградації активних речовин АБ.

Для подальшого використання залежності (2.10) необхідно знехтувати факторами впливу на результат непостійності значення ємності АБ. Для цього замість ємності АБ будемо розглядати кількість енергії, яку містить АБ. Оцінку кількості цієї енергії будемо здійснювати шляхом визначення заряду АБ –  $Q(t)$ .

Обсяг енергії, яку містить масив АБ у кожен момент часу, можна розглядати як залежний від величини  $SOC(t)$ . При цьому в чисельному виразі

$$Q(t) = C_{bat} SOC(t) \quad (2.11).$$

У формулі (2.11) під  $C_{bat}$  мається на увазі поточне значення ємності АБ, яке неможливо визначити в процесі роботи.

У кожен момент часу заряд АБ буде визначатися як сума двох складових – заряду АБ на початку роботи  $Q(t_0)$  та всієї енергії, яку накопичено в АБ на поточний момент часу. При цьому з урахуванням формул (2.8) та (2.10) можна отримати наступну залежність

$$Q(t) = Q(t_0) + \sum_{t=t_i}^{t_r} \frac{A_{bat}}{V_{bat}}. \quad (2.12)$$

Значення  $Q(t)$  в залежності (2.12) має бути більшим  $Q(t_0)$ , що відповідає виключно зарядженому стану АБ. Досягти виконання цієї умови можливо відповідним чином вибираючи значення  $Q(t_0)$ .

Протягом всього періоду роботи ВДЕ, залежно від обсягу виробленої ним енергії, значення заряду АБ згідно з формулою (2.12) може змінюватись від  $Q_{\min}$  до  $Q_{\max}$ . Ці значення можна визначити з всього обчисленого ряду значень наступним чином

$$Q_{\min} = \min[Q(t)], \quad Q_{\max} = \max[Q(t)], \quad t = [t_1, \dots, t_2, t_T]. \quad (2.13)$$

Оскільки значення  $Q_{\min}$  має бути позитивним (за умовою постійно зарядженого масиву АБ), мінімальний заряд і значення робочого діапазону, обраного в результаті  $C_{bat}$ , повинно відповідати наступним умовам

$$Q_{\min} \geq DODC_{bat}, \quad (2.14)$$

$$Q_{\max} - Q_{\min} \geq NRM C_{bat}. \quad (2.15)$$

З урахуванням формул (14) та (15) отримуємо двокритеріальне рівняння

$$C_{bat} \geq \max \left[ \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{NRM}, \frac{Q_{\min}}{MSOC} \right]. \quad (2.16)$$

Розрахунок відповідно до залежності (2.16) можливо виконати за наявності графіка електричного навантаження споживачів і прогнозних/статистичних даних щодо генерації електричної енергії ВДЕ. Розрахунок необхідно виконати для характерних періодів використання комплексу ВДЕ–АБ – залежно від пори року, робочого та вихідного днів, тощо. Особливу увагу слід приділити забезпеченню умови обмеження значення струму заряду/розряду АБ. Значення ємності АБ за результатами проведених розрахунків має задовольняти всім обраним періодам використання комплексу ВДЕ–АБ.



## 2.2 Визначення ємності накопичувача для СЕС з урахуванням прогнозування графіка її генерування

Одним із шляхів підвищення процесу стабільності генерування СЕС є накопичення всього надлишку енергії, що утворюється внаслідок небалансу між енергією, виробленою та прогнозованою для СЕС. Постійна наявність певного запасу енергії в накопичувачі, яку можна використовувати в разі недостатнього обсягу генерування СЕС, є важливою властивістю роботи комплексу «СЕС - накопичувач». Управління процесом заряду / розряду найбільш часто виконують за фактом наявності / відсутності позитивної різниці між енергією генерування СЕС і прогнозом.

Накопичувач енергії (акумулятор) виконує роль буфера, який акумулює електроенергію, використовуючи оборотність хімічних реакцій. Циклічний режим роботи приводу обумовлений хімічними процесами, що відбуваються в ньому, забезпечуючи заряд і розряд. Процес заряду передбачає проходження електричного струму в протилежному напрямку процесу розряду.

Характеристикою накопичення енергії як основного параметра є його ємність. Цей параметр є максимально допустимим рівнем заряду, який витримує накопичувач певного типу. Для того, щоб виміряти ємність накопичувача, її слід розрядити протягом встановленого часу до заданої напруги.

Зрозуміло, що в разі установки накопичувача в межах балансової належності розподільних електричних мереж, розрахунок його технічних характеристик повинен ґрунтуватися на оцінці нестабільності процесу генерації сонячних електростанцій і враховувати сальдо між спожитим навантаженням у вузлі і прогнозованим графіком генеруванням.

Маючи ймовірності покриття і не покриття графіка електричних навантажень ЕМ, математичне очікування надлишку електроенергії генерування СЕС, яку можна накопичити, можна визначити за формулами:

$$M_{надt} = \sum_i \overrightarrow{P_{покр_{tu}}} \cdot \overrightarrow{P_{нав_{tu}}}, \quad (2.17)$$

де

$p_{\text{покр}_u}$  – ймовірність покриття графіка навантаження,  $P_{\text{нав}}$  – потужність навантаження.

Дефіцит потужності генерування СЕС визначається за виразом:

$$M_{\text{деф}_t} = \sum_u \overrightarrow{p_{\text{непокр}_{t_u}}} \cdot \overrightarrow{P_{\text{нав}_{t_u}}}, \quad (2.18)$$

$p_{\text{непокр}_u}$  – ймовірність не покриття графіка навантаження.

Для визначення ємності накопичувача можна скористатись виразом

$$Q(t) = Q_0(t) + \frac{W_{\text{над}}(t)}{U_{\text{н-ч}}}, \quad (2.19)$$

де:

$W_{\text{над}}(t)$  – надлишкова енергія, яку можна накопичити;

$U_{\text{н-ч}}$  – напруга на затискачах накопичувача, для розрахунку приймається

$$U_{\text{н-ч}} = 12 \text{ В.}$$

За рахунок заряду, який можна накопичити в годину надлишку генерування, можна збільшити кількість годин, протягом яких СЕС буде самостійно забезпечувати баланс між генеруванням і електроспоживанням вузла. Ще однією перевагою використання накопичувачів є те, що надлишок генерації не призведе до збільшення додаткових втрат активної потужності і погіршення якості електроенергії в електричній мережі.

### **РОЗДІЛ 3**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЄМНОСТІ НАКОПИЧУВАЧА У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 0,4 КВ**

Економічний розвиток, зміни клімату та забруднення навколишнього середовища спричиняють розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у всьому світі, особливо останні два десятиліття. Для підтримки розбудови ВДЕ законодавством України дозволено встановлювати сонячні електростанції (СЕС) потужністю до 30 кВт для отримання «зеленого» тарифу на рівні приватних домогосподарств. Оформлення документації для підключення і продажу надлишків встановленої домогосподарством сонячної електростанції виконується по спрощеній схемі, тому для використання дахових СЕС (ДСЕС) не передбачено отримання дозвільних документів чи ліцензій. За останні 5 років в Україні майже 12 тисяч домогосподарств встановили та використовують СЕС загальною потужністю близько 280 МВт.

Очевидно, що такі умови та потужності створюють певні складнощі для функціонування електричних мереж операторів систем розподілу (ОСР). Історично електричні мережі ОСР на II класі напруги були побудовані за радіально-магістральною схемою та розраховані на централізоване електропостачання. Поява додаткового джерела живлення у таких схемах призводить до зміщення точки потякорозподілу ближче до голови фідера 10 кВ або лінії 0,4 кВ. Така зміна режиму роботи електричної мережі неодмінно впливає на рівні технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) відповідно до місця приєднання ДСЕС або їх групи. Залежно від метеорологічних умов вплив на ТВЕ може бути як позитивним, так і негативним, тобто поява ДСЕС у існуючій мережі ОСР може призводити до зростання ТВЕ, і як наслідок погіршення показників у рамках стимулюючого тарифоутворення для операторів систем розподілу (РАВ-регулювання).

Згідно з Методикою затвердженою Національною комісією, що здійснює

державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) передбачається, що ТВЕ у мережах операторів систем розподілу мають знизитися щонайменше на 1% на першому класі напруги та на 3,5% на другому класі напруги щорічно до 2035 року.

Таким чином, задача оцінювання негативного впливу ДСЕС на ТВЕ у розподільних електричних мережах 0,4 кВ є актуальною, особливо в умовах RAB-регулювання для ОСР.

### **3.1 Визначення коефіцієнта форми графіка групового активного навантаження в розподільних електромережах за умови часткової невизначеності вихідної інформації**

Розрахунок ТВЕ у електричних мережах ОСР є нетривіальною задачею, заважаючи на рівень інформаційного та технічного забезпечення систем обліку розподільних електричних мереж. Тому, ТВЕ у розподільних електричних мережах зазвичай визначаються наближеними методами, наприклад за методом середніх навантажень:.

$$\Delta W_H = \Delta P_{cp} k_{\phi}^2 T, \quad (3.1)$$

де  $\Delta P_{cp}$  – втрати потужності в мережі при середніх навантаженнях вузлів (або мережі в цілому) за час  $T$ ;  $k_{\phi}$  – коефіцієнт форми графіка потужності або струму.

Вказані методи досить ефективні за відсутності детальної інформації про споживання, однак потребують визначення коефіцієнта форми, розрахунок якого в умовах появи двостороннього живлення розподільної мережі потребує узгодження графіків споживання і генерування. Оскільки типові графіки генерування ДСЕС та споживання значно відрізняються розрахунок радіально-магістральних електричних мереж з двостороннім живленням необхідно проводити за уточненим коефіцієнтом форми, оцінити який можна експериментальним шляхом за наявності реально виміряних графіків генерування та споживання у розподільних електричних мережах 0,4 кВ.

Коефіцієнт форми графіка навантаження  $k_{\Phi}^2$  у виразі (1) дозволяє врахувати під час розрахунку змінних втрат електроенергії нерівномірність активного навантаження споживачів та генерування ДСЕС.

В теорії розрахунку навантажень коефіцієнт форми графіка одиничного споживача  $j$  визначається за таким виразом [109, 110]

$$k_{\Phi j}^2 = \frac{P_{\text{ср.кв}j}^2}{P_{\text{ср}j}^2}, \quad (3.2)$$

де  $P_{\text{ср.кв}j}$ ,  $P_{\text{ср}j}$  – відповідно, середньоквадратичне та середнє значення активного перетікання  $j$ -тою віткою протягом розрахункового періоду.

В умовах відсутності даних про погодинний відпуск електроенергії до кожного споживача,  $k_{\Phi j}^2$  розраховується тільки для головної ділянки лінії 0,4 кВ  $k_{\Phi\Sigma}^2$ . Значення коефіцієнта форми графіка навантаження на  $j$ -тій ділянці лінії 0,4 кВ  $k_{\Phi j}^2$  приймає значення  $k_{\Phi\Sigma}^2$ . Це приводить до похибки розрахунку змінних втрат електроенергії за (1)-(2) [104].

Особливо значні похибки характерні для віток електромережі у яких через накладання потоків активної потужності до споживачів та від ДСЕС, спостерігаються зміни напрямку результуючих перетікань з незначним їх середнім значенням протягом доби (рис. 1). У такому випадку значення  $k_{\Phi j}^2$  можуть перевищувати кілька десятків одиниць (див. рис. 1). Для ДСЕС незалежно від типу споживачів такі значення показника не характерні, отже їх не вдається відтворити з застосуванням класичних методів [182].

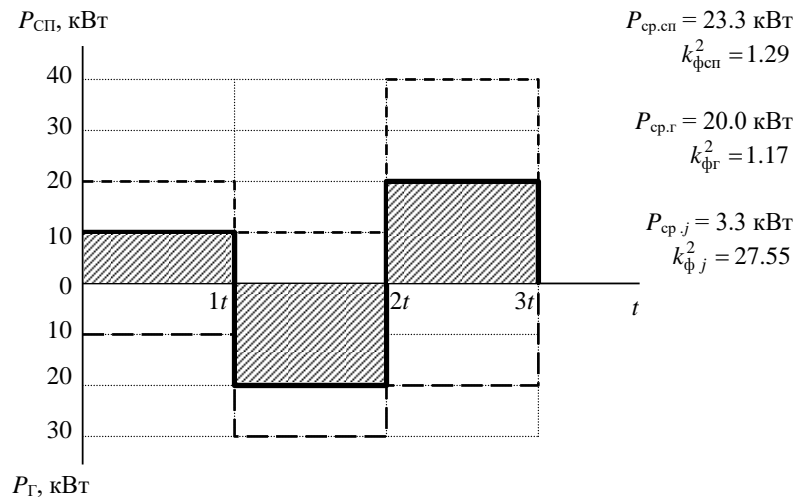


Рисунок 3.1 – Приклад графіка навантаження вітки ЕМ з двонаправленим транспортуванням активної потужності

Виходячи з цього, у роботі пропонується виконувати визначення коефіцієнтів форми графіків навантаження віток ЕМ у два етапи. При цьому вузли, що використовують дану вітку для транспортування електроенергії, поділяються на вузли споживання  $N_{СП}$  та вузли генерування  $N_{Г}$  активної потужності. Далі, на першому етапі виконується структурна ідентифікація коефіцієнтів форми графіка навантаження для множини споживачів  $N_{СП}$  засобами теорії нечітких множин [111]. На другому етапі ідентифікується результуючий коефіцієнт форми для даної вітки з урахуванням зустрічних перетікань активної потужності від множини джерел  $N_{Г}$  (КРП та ДСЕС).

### 3.2 Визначення коефіцієнтів форми графіків навантаження віток електромереж з двонаправленим транспортуванням активної потужності

Для віток електромереж (ЛЕП, трансформаторів), у яких за рахунок взаємовпливу споживання та генерування активної потужності протягом доби спостерігається двонаправлене її транспортування:

$$|P_{ср,j}| \leq P_{ср,сп,j}; |P_{ср,j}| \leq P_{ср,Г,j},$$

неврахування коефіцієнта форми графіка навантаження призводить до значних похибок відтворення втрат електроенергії, що в кінцевому рахунку може

негативно відбиватися на адекватності прийняття оптимальних рішень на підставі розрахункових втрат [24]. Очевидно, що більше середнє значення результуючого перетікання відповідає більшим відхиленням змодельованого значення втрат електроенергії від реального. Виходячи з цього найбільшу увагу слід приділяти ідентифікації  $k_{\Phi j}^2$  для ділянок магістральної частини ЕМ.

Для розосереджених джерел електроенергії визначення коефіцієнтів форми графіків  $k_{\Phi r}^2$  виконується за даними комерційного обліку електроенергії (згідно вимог до функціонування на енергетичному ринку України ДСЕС оснащуються електронними лічильниками, які фіксують 48-ступеневий графік видачі їх активної та реактивної енергії). Для ДСЕС, використовуючи виміряні графіки видачі активної потужності формуються сумарні графіки генерування для  $j$ -ої вітки ЕМ, за якими визначаються коефіцієнти форми генерування  $k_{\Phi r j}^2$ .

Для визначення коефіцієнтів форми графіків навантаження  $j$ -ої вітки ЕМ, для якої характерні двосторонні перетікання пропонується метод, що базується на властивостях коефіцієнта форми графіків навантаження. В якості вхідної інформації використовуються дані, що характеризують активні перетікання від споживачів та ДСЕС, які є в наявності, або можуть бути отримані наявними інформаційними засобами електромереж: коефіцієнти форми сумарного споживання активної потужності для кожної вітки ЕМ  $k_{\Phi cп j}^2$ ; середнє значення активного споживання  $P_{cп j}$ ; коефіцієнт форми сумарного генерування активної потужності ДСЕС  $k_{\Phi r j}^2$ ; середнє значення активного генерування  $P_{r j}$ .

Виходячи з особливостей взаємовпливу перетікань активної потужності, зумовлених її споживанням та генеруванням (див. рис. 1) вираз для визначення коефіцієнта форми графіка навантаження вітки з двонаправленим перетіканням, на підставі (2), можна подати так [24]:

$$k_{\Phi j}^2 = \frac{\left[ (P_{cп1} - P_{r1})^2 + (P_{cп2} - P_{r2})^2 + (P_{cп3} - P_{r3})^2 \right] / 3}{\left[ \frac{(P_{cп1} - P_{r1}) + (P_{cп2} - P_{r2}) + (P_{cп3} - P_{r3})}{3} \right]^2}, \quad (3.3)$$

де  $P_{\text{сп1}}, P_{\text{сп2}}, P_{\text{сп3}}$  – значення сумарного активного споживання по ступенях графіка навантаження  $j$ -ої ЛЕП;  $P_{\text{г1}}, P_{\text{г2}}, P_{\text{г3}}$  – значення сумарного активного генерування по ступенях графіка навантаження  $j$ -ої ЛЕП.

Після перетворень (3) набуде вигляду:

$$k_{\phi j}^2 = \frac{P_{\text{ср.кв.сп}j}^2 + P_{\text{ср.кв.г}j}^2 - \frac{2}{3}(P_{\text{сп1}}P_{\text{г1}} + P_{\text{сп2}}P_{\text{г2}} + P_{\text{сп3}}P_{\text{г3}})}{[P_{\text{ср.сп}j} - P_{\text{ср.г}j}]^2}, \quad (3.4)$$

де  $P_{\text{ср.кв.сп}j}, P_{\text{ср.кв.г}j}$  – середньоквадратичні значення сумарного споживання та генерування активної потужності для  $j$ -ої вітки;  $P_{\text{ср.сп}j}, P_{\text{ср.г}j}$  – середні значення сумарного споживання та генерування активної потужності для  $j$ -ої вітки.

Прийнявши для визначення другої складової (4) припущення щодо рівності генерування та споживання для ступенів графіків відповідним середнім значенням:  $P_{\text{сп1}} = P_{\text{сп2}} = P_{\text{сп3}} = P_{\text{ср.сп}j}$ ,  $P_{\text{г1}} = P_{\text{г2}} = P_{\text{г3}} = P_{\text{ср.г}j}$ , вираз набуде вигляду:

$$k_{\phi j}^2 \approx \frac{P_{\text{ср.кв.сп}j}^2 + P_{\text{ср.кв.г}j}^2 - 2P_{\text{ср.сп}j}P_{\text{ср.г}j}}{[P_{\text{ср.сп}j} - P_{\text{ср.г}j}]^2}, \quad (3.5)$$

або з урахуванням властивості коефіцієнта форми графіка навантаження:

$$k_{\phi j}^2 \approx \frac{k_{\text{фсп}j}^2 P_{\text{ср.сп}j}^2 + k_{\text{фг}j}^2 P_{\text{ср.г}j}^2 - 2P_{\text{ср.сп}j}P_{\text{ср.г}j}}{[P_{\text{ср.сп}j} - P_{\text{ср.г}j}]^2}. \quad (3.6)$$

Аналітично можна показати, що подібне перетворення є справедливим для графіків навантаження та генерування довільної конфігурації з довільною кількістю ступенів. Прийняте припущення несуттєво впливає на адекватність відтворення коефіцієнтів форми графіків. Наприклад, для графіків, поданих на рис. 1, розраховане за (6) значення  $k_{\phi j}^2 = 25.7$ , тобто відхилення від розрахованого за (1) значення становить біля 7 % і це незважаючи, що для ілюстрації вибрано практично найгірший випадок ( $P_{\text{ср}j}$  становить біля 10-15% від  $P_{\text{ср.сп}j}$  та  $P_{\text{ср.г}j}$ , тобто  $P_{\text{ср.кв}j} \ll P_{\text{ср}j}$ ). Неврахування коефіцієнта форми ( $k_{\text{ф}j}^2 = 1$ ), або врахування його за превалюючим значенням середньої потужності ( $k_{\text{ф}j}^2 = 1.29$ ) дає, очевидно, значно більше відхилення розрахункових втрат



електроенергії в  $j$ -ій вітці від реальних, причому завжди у бік зменшення. Останнє, у контексті поставленої задачі, може призводити до необґрунтованого зниження рівня ТВЕ в електромережах з ДСЕС.

### 3.3 Визначення ємності накопичувача для розподільної мережі з даховими СЕС з урахуванням графіка їх генерування

У зв'язку з переходом на стимулююче тарифоутворення більшість ОСР спрямовують інвестиції на розвиток системи обліку електричної енергії та впровадження систем Smart Metering. Одним із таких випадків є впровадження пілотного проекту АСКОЕ-побут та бази обладнання ТОВ "Телекомунікаційні технології". Пілотним проектом передбачено встановлення Smart лічильників типу МТХ 1А10.ДГ.2L5-LD4 для всіх побутових споживачів 0,4 кВ та ДСЕС приєднаних до ТП-45 160 кВА м. Іллінці з можливістю зняття погодинного графіка споживання та генерування. Схема електричної мережі та розташування ДСЕС наведено на рис.3.2.

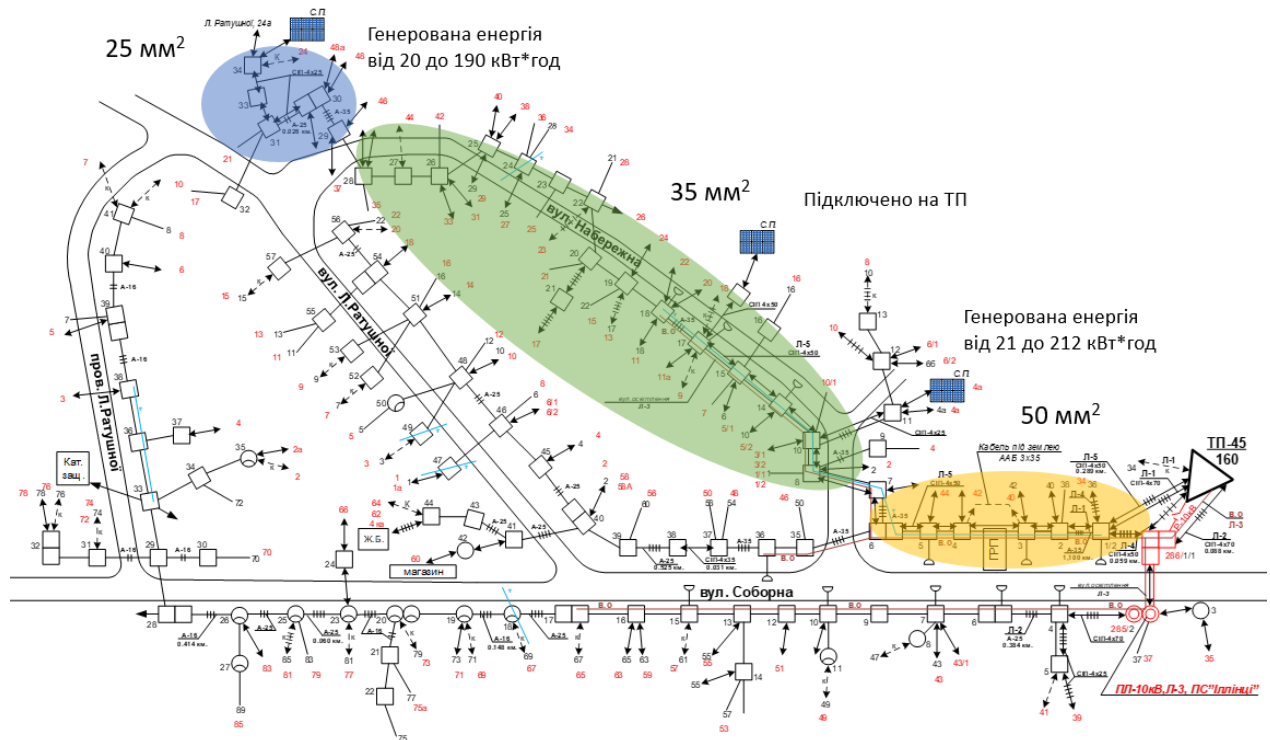
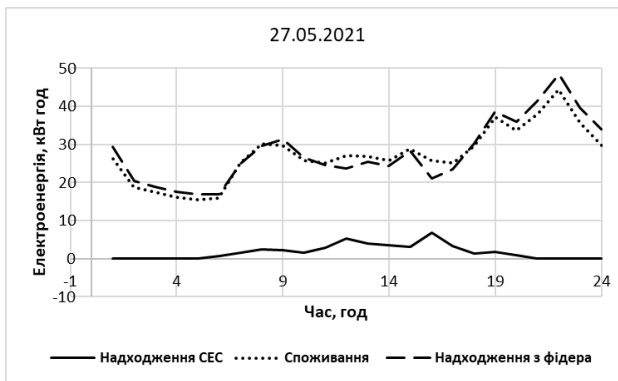
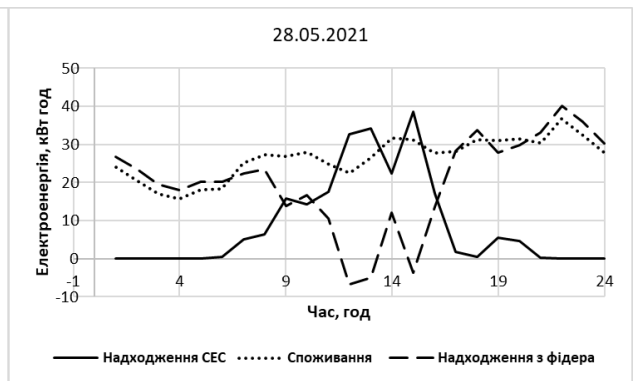


Рисунок 3.2 – Попорна схема електричної мережі 0,4 кВ ТП-45

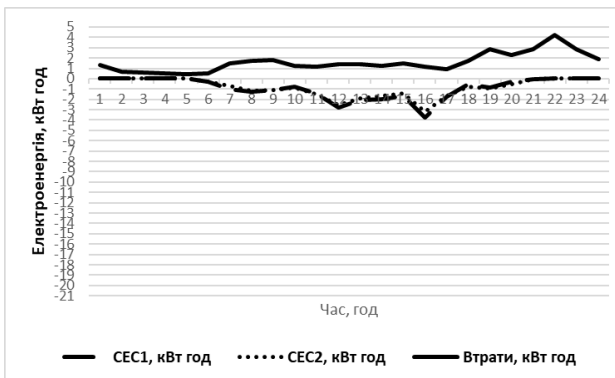
Для вказаної схеми було знято графіки генерування та споживання (рис.3.2) за травень 2021 року. Як видно з рис.3.3 для вказаної мережі використання рекомендованого коефіцієнту форми протягом всіх днів місяця призведе до накопичення похибки визначення ТВЕ. Наприклад, на рис.3.3.а показано режим роботи ДСЕС у якому перетікання потужності зменшують сумарні ТВЕ. Наступного дня, рис.3.3б метеорологічні умови сприяли підвищенню генерування ДСЕС, тому генерування перевищило споживання, що призвело до збільшення ТВЕ за рахунок заміни денного провалу у споживанні денним піком генерування. Таким чином, графік навантаження вказаного фрагменту схеми має три піки, що негативно впливає на показники ТВЕ.



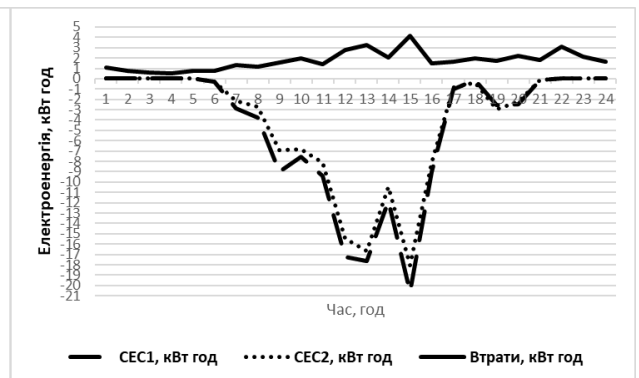
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.3 – Графіки генерування та споживання для хмарного а) та сонячного б) дня, а також відповідні їм втрати електроенергії для хмарного в) та сонячного г) дня.

Крім того на ТВЕ також впливає організація електропостачання за радіально-магістральною схемою, коли ДСЕС підключена вкінці лінії, де історично використовуються менші перерізи проводів (рис.3.4).

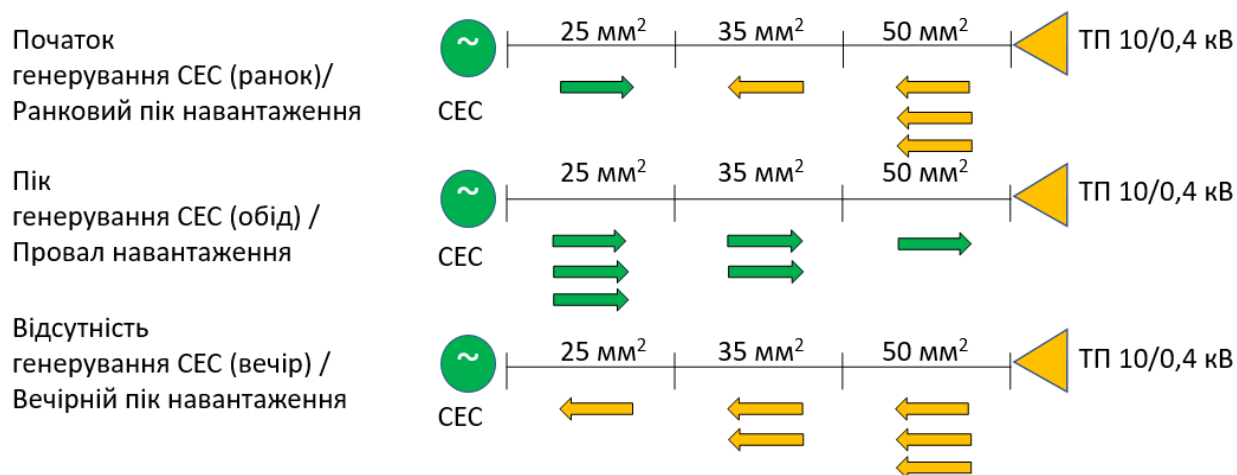


Рисунок 3.4 –Перерізи проводів та перетікання потужності у радіально-магістральній схемі.

Отримані графіки надходження та споживання було використано для оцінювання впливу дахових СЕС на ТВЕ у розподільних електричних мережах 0,4 кВ засобами ПК «Втрати-10/0,4» розробленого кафедрою електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету та наведено у табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінювання впливу дахових СЕС на ТВЕ у розподільних електричних мережах 0,4 кВ засобами ПК «Втрати-10/0,4»

Дата реєстрації відпуску /надходження	19тра	20тра	21тра	22тра	23тра	24тра	25тра	26тра	27тра	28тра
Надходження, кВт год	699.8	729.9	724.3	728.9	749.1	681.2	694.3	686.3	713.9	702.8
Сумарне надходження від СЕС, кВт год	90.3	303.3	375.9	396.3	402.8	247.7	362.2	74.2	41.9	217.7
Корисний відпуск, кВт год	639.7	644.9	651.0	653.4	667.2	613.0	616.8	618.6	653.8	635.0
Частка корисного відпуску, що покривається ВДЕ, %	14.1	47.0	57.7	60.7	60.4	40.4	58.7	12.0	6.4	34.3
Звітні втрати, кВт год	60.1	85.0	73.4	75.5	82.0	68.2	77.5	67.7	60.2	67.9

Втрати з урахуванням уточненого коефіцієнта форми, кВт год	64.14	67.09	82.62	85.50	89.05	60.32	72.31	60.81	71.20	62.13
Різниця між звітними та розрахунковими втратами, %	-0.6	2.5	-1.3	-1.4	-0.9	1.2	0.7	1.0	-1.5	0.8
Зростання втрат завдяки ВДЕ, %	-1.13	2.42	-0.04	0.37	1.14	0.77	2.03	0.64	-1.56	0.14

Як видно з отриманих результатів залежно від метеорологічних умов ДСЕС можуть значно підвищувати ТВЕ у розподільних електричних мережах.

Таким чином, для вказаної електричної мережі, ємність накопичувача необхідної для компенсації втрат електроенергії буде рівною в середньому рівня для втрат 71 кВт\*год на добу (табл.3.1):

$$Q(t) = \frac{W_{над}(t)}{U_{н-ч}} = \frac{71}{12} = 6 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

За рахунок заряду, який можна накопичити в годину надлишку генерування, можна збільшити кількість годин, протягом яких СЕС буде самостійно забезпечувати баланс між генеруванням і електроспоживанням вузла (рис. 4.1). Ще однією перевагою використання накопичувачів є те, що надлишок генерації не призведе до збільшення додаткових втрат активної потужності і погіршення якості електроенергії в електричній мережі.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Задачею проектування сонячної електростанції є розроблення та обґрунтування технічних і економічних питань, які обумовлюють реконструкцію електричної частини сонячної електростанції, забезпечуючи доцільну надійність електропостачання споживачів в необхідній кількості і необхідну якість з врахуванням екологічних та соціальних вимог.

Проекти електричної частини сонячної електростанції повинні служити вихідним матеріалом для обґрунтування необхідності та доцільності будівництва або реконструкції сонячних станцій та визначення їх технічних характеристик і параметрів.

Необхідність реконструкції мереж обумовлена тим, що майже все електроенергетичне обладнання, яке експлуатується зараз на території України, вже виробило свій ресурс, як за технічними показниками, так і за моральними. Існуючий на сьогоднішній час сучасний стан електричних мереж зумовлений тим, що енергопостачальні компанії не мають коштів на проведення істотної реконструкції розподільних мереж, загальні втрати електроенергії в яких досягають 30-35%.

Ці втрати зумовлені не тільки технічним станом обладнання електричних мереж, а також тим, що електричні мережі, побудовані 15-30 років тому, не відповідають сучасному стану споживання електроенергії, що теж веде до збільшення втрат. Більшу частину загальних втрат складають технічні втрати – близько 20%, зумовлені саме технічним станом розподільних мереж. Ці втрати необхідно та можливо знизити шляхом проведення технічної реконструкції існуючих локальних мереж.

В умовах переходу до ринкових відносин в економіці та реформи ціноутворення основним показником ефективності основних фондів, що знову вводяться на рівні підприємства стає абсолютна ефективність (рентабельність), яка є визначальним критерієм доцільності капіталовкладень.

В якості економічного показника рекомендуються так звані дисконтні витрати. При спорудженні всієї сонячної електричної станції дисконтні затрати визначають за формулою:

$$Z = K - L + V/E + Z_b \quad (4.1)$$

де  $Z$  – дисконтні затрати, тис.грн;  $K$  – одноразові капітальні витрати, тис.грн;  $L$  – ліквідна вартість демонтованого обладнання;  $V$  – амортизаційні витрати на реновацію та витрати на експлуатацію мережі;  $E = 0.1$  – норма дисконту;  $Z_b$  – можливий народногосподарський збиток від перерви електропостачання, викликані відключенням споживачів внаслідок пошкоджень елементів електричної мережі.

Щорічні витрати на експлуатацію мережі  $V$  складаються із відрахувань від капітальних витрат на амортизацію, ремонт і обслуговування лінії  $V_L$ ; та підстанцій  $V_P$  та вартості  $V_{\Delta W}$  втрат електроенергії  $\Delta W$  за рік:

$$V = V_L + V_P + V_{\Delta W}$$

де  $V_L$  - відрахування від капітальних витрат на реновацію та експлуатацію ліній, тис. грн.:

$V_P$  - відрахування від капітальних витрат на реновацію та експлуатацію підстанцій, тис. грн.:

$V_{\Delta W}$  - відрахування від капітальних витрат на вартість втрат електроенергії  $\Delta W$  за рік, тис. грн.

Втрати на реновацію та експлуатацію ліній, а також витрати на реновацію та експлуатацію підстанцій є не змінними для всіх варіантів.

Визначимо зміну втрат електроенергії:

$$\Delta W = W_{II} - W_P, \quad (4.2)$$

де  $W_{п}$  – втрати електроенергії в мережі до проведення реконструкції;

$W_{р}$  – втрати електроенергії в мережі після проведення реконструкції.

З урахуванням результатів попередніх розрахунків економічний ефект від запровадження проведених досліджень можна розрахувати як вартість потужності накопиченої відповідно до прогнозованого графіка навантаження:

$$E = \eta * \Delta W_{р} = 2,91 * 6 * 8760 * 0,6 = 91,769 \text{ тис. грн.}$$

де  $\eta$  – вартість втрат електричної енергії на ринку на добу наперед, грн./кВт\*год.

Термін окупності вказаної системи накопичення енергії із розрахунку 200\$ за 1 кВт становить:

$$T = 200 * 27 * 6 / 91769 = 0,35 \approx 4 \text{ місяці.}$$

Однак, у реальних умовах економічний ефект від запровадження системи накопичення енергії буде залежати від розміру штрафу вказаної СЕС на балансуєчому ринку.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 5.1 Задачі розділу

Згідно Конституції України всі громадяни України мають право на належні безпечні і здорові умови праці. Закон України «Про охорону праці» визначає основні положення щодо реалізації конституційного права зайнятих працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні умови праці, це стосується і робіт пов'язаних з обслуговуванням розподільних електричних мереж.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки.

Найбільш важким ймовірним технологічним порушенням у розподільній електричній мережі є руйнування розподільчого пристрою ЗРП-10 кВ. Руйнування ЗРП-10 кВ без резервування унеможлиблює виробництво передачу електроенергії. Резервування підвищує надійність електропостачання.

Наведене вище обґрунтовує актуальність проблеми, що полягає у розвитку питань охорони праці при виконанні робіт пов'язаних з експлуатацією розподільних електричних мереж, які працюють в складі електроенергетичної системи України з урахуванням сучасних знань, системного та ризик-орієнтовного підходів про природу небезпеки.

Отже, для мінімізації ризику професійного захворювання та травматизму працівників при експлуатації розподільних електричних мереж сформулюємо основні задачі щодо охорони праці за темою дипломного проектування:

1. Провести аналіз умов праці при виконанні робіт пов'язаних з обслуговуванням ЗРП-10 кВ розподільної мережі, які працюють в складі



електроенергетичної системи України за міждержавним НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок», НПАОП 40.1-1.07-01. «Правила експлуатації електрозахисних засобів», «Правила улаштування електроустановок».

2. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при обслуговуванні ЗРП-10 кВ розподільної електричної мережі. Розрахувати параметри заземлюючого пристрою обладнання РП – 10 кВ.

3. Вибрати основні заходи протипожежного захисту ЗРП-10 кВ.

## **5.2 Аналіз умов праці при роботах пов'язаних з обслуговуванням розподільних електричних мереж**

Відповідно до ГКД 34.20.601-2003 «Правила організації технічного обслуговування та ремонту обладнання, будівель і споруд електростанцій та мереж» до складу електричних мереж входять наступні основні об'єкти:

- повітряні лінії (ПЛ) електропередач напругою 0,4-20 кВ;
- трансформаторні підстанції (ТП) напругою 6-20/0,4 кВ, розподільних пунктів (РП) напругою 6-20 кВ;
- повітряні лінії електропередач (ПЛ) напругою 35-150 кВ;
- кабельні лінії електропередач (КЛ) напругою 0,4-150 кВ;
- електричні підстанції напругою 35 кВ і вище;
- повітряні лінії електропередач (ПЛ) напругою 220-800 кВ;
- виробничі будівлі і споруди;
- засоби релейного захисту і автоматики;
- засоби диспетчерського і технологічного управління.

Система технічного обслуговування та ремонту електричних мереж передбачає виконання комплексу робіт, які проводяться з визначеною періодичністю і послідовністю, скерованих на забезпечення справного стану електричного обладнання, його надійної та економічної експлуатації при

оптимальних трудових і матеріальних витратах. Комплекс робіт, в основному, включає в себе:

- чітко організоване технічне обслуговування електричного обладнання;
- встановлення оптимальної періодичності проведення капітальних ремонтів електричного обладнання;
- впровадження прогресивних форм організації та управління ремонтом електричного обладнання;
- впровадження спеціалізації ремонтних робіт;
- контроль якості виконання робіт в процесі ремонту;
- своєчасне забезпечення ремонтних робіт матеріалами, запчастинами і комплектуючим обладнанням;
- аналіз параметрів технічного стану обладнання до і після ремонту.

На основі аналізу викладеного вище матеріалу при робіт пов'язаних з обслуговуванням розподільних електричних мереж повинні бути враховані наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори з урахуванням міждержавного нормативного документа з охорони праці ГОСТ 12.003-74: на оперативно-ремонтний персонал в електричних мережах впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;

- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження).

Перед виконанням робіт майстер подає заявки на вимикання об'єктів електричних мереж, на яких передбачається виконання робіт. У випадку необхідності вимкнення споживачів для проведення робіт РЕМ або ділянки електричних мереж повинні своєчасно повідомити промисловим, комунальним і сільськогосподарським споживачам про причину вимкнення та його тривалість.

Для підготовки і проведення робіт технічного обслуговування і ремонту електричних мереж використовуються типові карти організації праці або технологічні карти на основні види робіт, в яких на кожну роботу наведені склад бригади, кваліфікація виконавців, норма часу, особливі умови проведення роботи, необхідні захисні засоби, технічне оснащення, в тому числі комплектуючі вироби і матеріали, пристрої, інструмент, інвентар, опис операцій і порядок виконання роботи. В Обленерго типові карти організації праці, при необхідності, конкретизуються з урахуванням місцевих умов.

Вимкнення, заземлення на підстанціях ремонтovanого об'єкта, допуск бригад до роботи повинні проводитись у відповідності з "Правилами безпечної експлуатації електроустановок", затвердженими Держнаглядом праці України, Мінюст України 25.02.2001 р., наказ №26.

У випадку заміни опор, проводів, встановлення нових перетинів, переходів необхідно провести зміни в паспортах об'єктів та поопорних схемах.

## **5.3 Організаційні та технічні заходи, якими досягається безпека при обслуговуванні розподільних електричних мереж**

### **5.3.1 Організаційно-технічні рішення з охорони праці за стандартами України**

Проект будівництва ЗРП-10 кВ повинні бути виконанні у відповідності до чинних норм:

- Закон України "Про охорону праці"
- «Правила технічної експлуатації електричних станцій та мереж»
- ГКД 341.004.001-94 – Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6 -750 кВ
- НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»
- НПАОП 40.1-1.07-01. «Правила експлуатації електрозахисних засобів»
- Правила улаштування електроустановок

Для забезпечення електробезпеки на ЗРП-10 кВ передбачається:

- влаштування захисного заземлюючого пристрою;
- забезпечення необхідних віддалей до струмопровідних елементів та розташування їх на висоті відповідно до вимог ПУЕ, що є достатнім для безпечного проїзду або проходу обслуговуючого персоналу;
- електромагнітне блокування комутаційних апаратів, що виключає помилкові дії персоналу при виконанні оперативних переключень;
- контроль ізоляції;
- застосування попереджуючої сигналізації, написів, плакатів;
- застосування індивідуальних та групових засобів захисту.

Для забезпечення сприятливих умов праці на електростанції передбачено:

- освітлення робочих проходів;
- опалення приміщень;
- природну та примусову вентиляцію приміщень.

Технічне обслуговування та ремонт електрообладнання повинні виконувати тільки кваліфіковані фахівці. З метою безпеки перед проведенням

технічного обслуговування трансформаторної підстанції необхідно відключити всіх підключених електроспоживачів.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установок.

### **5.3.2 Розрахунок захисного заземлення для обладнання в ЗРП-10 кВ**

Відповідно до вимог глави 1.7 ПУЕ:2014, заземлюючий пристрій електростанції виконується за вимогою до його опору для електроустановок напругою до 1 кВ в електричних мережах з глухозаземленою та ізольованою нейтраллю, до заземлюючих пристроїв яких ставляться більш жорсткі вимоги, ніж до заземлюючих пристроїв електричних мереж понад 1 кВ з ізольованою

нейтраллю. Відповідно до п. 1.7.92 та 1.7.96 ПУЕ:2014 опір заземлюючого пристрою повинен складати не більше 4 Ом.

По периметру ЗРП-10 кВ прокласти круг сталевий ( $d=10$  мм), який приєднати зварюванням до загального заземлюючого пристрою електростанції не менше, ніж у двох точках.

До заземлюючого пристрою електростанції для захисту від непрямого дотику приєднати всі металеві корпуси електротехнічного обладнання (в т. ч. ящики з'єднань, опорні конструкції панелей) та екрани кабельних ліній.

Основний вплив на величину опору заземлювачів надає верхній шар ґрунту на глибині до 20-25 м, тому при розрахунку і пристрої заземлення необхідно знати його питомий опір.

Залежно від складу (чорнозем, пісок, глина і т. п.), розмірів і щільності прилягання один до одного частинок, вологості і температури, наявності розчинних хімічних речовин (кислот, лугів, продуктів гниття і т. д.) питомий опір ґрунтів змінюється в дуже широких межах.

Найбільш важливими факторами, що впливають на величину питомого опору ґрунту, є вологість і температура. Протягом року в зв'язку зі зміною атмосферних і кліматичних умов утримання вологи в ґрунті: і його температура змінюються, а отже, змінюється і питомий опір. Найбільш різкі коливання питомої опору спостерігаються у верхніх шарах землі, які взимку промерзають, а влітку висихають. З даних вимірювань випливає, що при зниженні температури повітря від 0 до  $-10$  ° С питомий опір ґрунту на глибині 0,3 м збільшується в 10 разів, а на глибині 0,5 м - в 3 рази.

Розрахунок контуру заземлювачів зводиться до визначення такого числа розміщення штучних заземлювачів, при якому опір розтікання струму не перевищує нормоване значення.

Для обґрунтування параметрів заземлюючого пристрою, який використовується в схемі заземлення РП 10 проведемо розрахунок за загальноприйнятою методикою[48].

При розрахунку будемо використовувати програмне забезпечення Mathcad.

Тип заземлювального пристрою – вертикальні сталеві труби з розмірами:

$l_B = 3$  м;  $d_B = 0,04$  м; товщина стінки  $\delta = 3,5$  мм; відстань між вертикальними заземлювачами  $a = 3$  м., тобто  $a/l_B = 1$ . Глибина закладання заземлювачів  $H_0 = 0,8$  м.,  $B_C = 40$  мм.

Ґрунт – глина; склад – однорідний; вологість – мала. Кліматична зона – III.

Визначаємо розрахунковий питомий опір чорнозему

$$\rho_{\text{розн.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot K_c, \quad (5.1)$$

де  $\rho_{\text{табл.}} = 250$  Ом · м – приблизні значення питомих електричних опорів різних ґрунтів та води, Ом · м

$K_c = 1,2$  – коефіцієнт сезонності  $K_{c.v.}$  для однорідної землі при вимірюванні її опору:

$$\rho_{\text{розн.}} = 250 \cdot 1,2 = 300 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

Визначаємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис. 5.1):

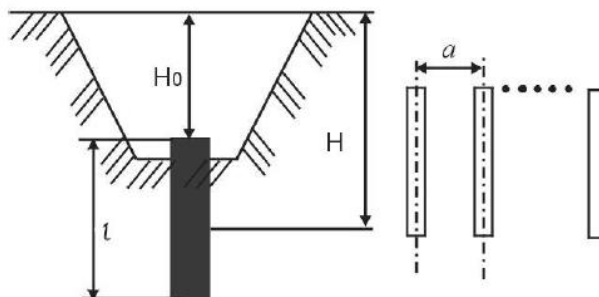


Рисунок 5.1 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

$$H = H_0 + \frac{l_B}{2}, \quad (5.2)$$

$$H = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3 \text{ (м)}$$

Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр.}}}{l_B} \left( \lg \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4H + l_B}{4H - l_B} \right); \quad (5.3)$$

$$R_B = 0,366 \frac{300}{3} \left( \lg \frac{2 \cdot 3}{0,04} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 79,661 \text{ (Ом)}.$$

Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при  $\eta_B = 1$   
де  $\eta_B$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів

$$n_{\text{OP}} = \frac{R_B}{R_d \cdot \eta_B} \quad (5.4)$$

$$n_{\text{OK}} = \frac{79,661}{4 \cdot 1} = 19,91; \text{ приймаємо } n_{\text{OK}} = 20 \text{ шт.}$$

Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $n_B$ ,  
заземлювачі розташовані в ряд,  $a / l_B = 2, n = 20$ . Приймаємо  $\eta_B = 0,47$ .

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з  
врахуванням коефіцієнта використання:

$$n_B = n_{\text{OP}} / \eta_B; \quad (5.5)$$

$$n_B = 20 / 0,47 = 42,55.$$

Приймаємо  $n_B = 43$  шт.

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних  
заземлювачах при  $n_B = 43$  без врахування з'єднувальної стрічки:



$$R_{\text{розр.в.}} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B}; \quad (5.6)$$

$$R_{\text{розр.в.}} = \frac{79,661}{43 \cdot 0,47} = 3,92 \text{ (Ом)}.$$

Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$L_c = 1,05 \cdot a(n-1); \quad (5.7)$$

$$L_c = 1,05 \cdot 3(43-1) = 132,3 \text{ (м)}.$$

За формулою (5.8) для горизонтальних електродів, розташованих в ґрунті, визначаємо опір розтікання струму:

$$R_\Gamma = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр.}}}{L_c} \lg \frac{2 \cdot (L_c)^2}{H_o \cdot B_c}; \quad (5.8)$$

$$R_\Gamma = 0,366 \frac{300}{132,3} \lg \frac{2 \cdot (132,3)^2}{2,3 \cdot 0,04} = 4,631.$$

Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача. при  $a/l=2$ ,  $n=43$ . Приймаємо  $\eta_\Gamma = 0,22$ .

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням  $\eta_\Gamma$ :

$$R_{\text{розр.}\Gamma} = \frac{R_\Gamma}{\eta_\Gamma}; \quad (5.9)$$

$$R_{\text{розр.}\Gamma} = \frac{4,631}{0,22} = 21,05 \text{ (Ом)}.$$

Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{\text{розр.}} = \frac{R_{\text{розр.в.}} \cdot R_{\text{розр.}\Gamma}}{R_{\text{розр.в.}} + R_{\text{розр.}\Gamma}}; \quad (5.10)$$

$$R_{\text{розр.}} = \frac{3,92 \cdot 21,05}{3,92 + 21,05} = 3,3 \text{ (Ом)};$$

Отриманий розрахунковий опір розтікання струму відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

#### 5.4 Пожежна безпека будівлі ЗРП-10 кВ

Приміщення будівлі ЗРП-10 кВ згідно ОНТП 24-86 відносяться до категорії Д. До цієї категорії відносяться негорючі речовини у холодному стані. ЗРП-10 кВ розташовані у будівлі II ступеня вогнестійкості.

До II ступеня вогнестійкості відноситься будівля із несучими та огорожуючими конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів.

Таблиця 5.2 – Дані по приміщенню

Категорія приміщення	Допустима поверхів Кількість	Ступінь вогнестійкості будівлі
Д	2	II

Приміщення категорії Д захищається вогнегасниками типу ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливого загоряння не повинна перевищувати 70 м.

Біля ЗРП-10 кВ встановлюється 1 пожежний щит. До комплексу засобів пожежогасіння, які розміщуються в ньому, слід включати: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском – 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті 2 м х 2 м – 1 шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт.

Ящик для піску має місткість 3 м<sup>3</sup> та укомплектовані совковою лопатою. У приміщеннях щит повинен бути в легкодоступному місці, ближче до виходу.

Як показує досвід, будівельні та інженерно-технічні заходи пожежної безпеки можуть надійно виконувати свої функції протягом періоду експлуатації тільки, якщо були вжиті необхідні заходи для забезпечення якісного

проектування, реалізації проекту і при відповідальному експлуатуванні. До таких заходів відносяться:

- Застосування визнаних технічних стандартів, як основу при проектуванні;
- Застосування кваліфікованих професійних проектувальних організацій і кваліфікованих виконавців робіт;
- Виконання робіт спеціалізованими організаціями, які мають достатні професійні знання і досвід, навчений персонал, необхідне обладнання;
- Приймальні випробування і періодичний технічний нагляд атестованим технічним експертом, наприклад, спеціалістом VdS по системам пожежної безпеки;
- Регулярне обслуговування згідно з інструкціями, яке проводиться спеціалізованими організаціями і навченим персоналом з власного підприємства;
- Контроль за проведенням сервісних робіт (обслуговування, перевірка і підтримка функціонального стану) і документування за допомогою журналу перевірок.

### **5.5 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи ЗРП-10 кВ в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій**

Всі системи електропостачання є досить вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. Електростанції відносяться до важливих підприємств, що використовуються в стратегічній і оборонній сфері. Тому важливим питанням є забезпечення високої стійкості роботи електростанції.

Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання є електронне обладнання систем управління ЗРП. Серед елементів є напівпровідники, блок живлення,

блок керування та силові елементи, транзистори, діоди. Через впливи на ізоляцію в трансформаторах можливі замикання обмоток, а відповідно і загорання трансформаторів.

В результаті опромінення системи в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понизиться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність та діелектрична провідність.

Серед загрозливих чинників надзвичайних ситуацій особливо великий вплив на ЗРП має вплив електромагнітного імпульсу. Він може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів та діодів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликаючи коротке замикання. Ці наслідки призводять до пожеж на підприємстві, а в подальшому розвитку і вибухів. Саме тому є необхідність запобігати впливу цього фактору на електричне та електронне обладнання СЕС.

### **5.5.1 Дослідження стійкості роботи ЗРП-10 кВ в умовах дії іонізуючих випромінювань**

Визначаємо граничні значення дози опромінення  $D_{грi}$ , для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 – Граничні значення експозиційних доз електричної частини ЗРП

№	Блоки станції	Елементна база	$D_{грi}$ , Р	$D_{гр}$ , Р
1	Блок живлення	Мікросхема К 1533 КП4	$10^5$	$10^4$
2	Блок керування	Транзистори КТ-646	$10^4$	
		Діоди Д220А	$10^4$	
		Конденсатори СП5-30	$10^7$	

	СВП-4	Резистори ПЭВ 100-150 Ом	$10^7$	
3	Силові елементи	Трансформатор ТМ-100/6	$10^7$	
		Тиристори Т171-320-1.6	$10^5$	
		Дросель PLM3216	$10^5$	

Проаналізувавши дані таблиці 5.8 визначили, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою  $D_{\text{грі}} = 10^4 \text{ Р}$  є транзистори та діоди а також елементи блоку живлення. Блок живлення в разі дії на нього іонізуючих випромінювань можна перенести в підвальне приміщення, що збільшить коефіцієнт ослаблення і відповідно його стійкість. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{осл}}}, \quad (5.1)$$

де  $P_1$  – максимальне значення рівня радіації ( $P_1 = 4,79 \text{ Р/год}$ );

$t_k$  – час кінця опромінення ( $t_k = 87600 \text{ год}$  (10 років));

$t_n$  – час початку опромінення ( $t_n = 1 \text{ год}$ ).

$K_{\text{осл}}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{\text{осл}} = 2$ ).

$$D_m = \frac{2 \cdot 4,79 (\sqrt{87600} - \sqrt{1})}{2} = 1417,7 \text{ (Р)}.$$

Оскільки  $D_{\text{грі}} > D_m$ , то дана система стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.2)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 4,79 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,79} = 2378 \text{ (год)}.$$

Отже, можливо доза опромінення елементної бази  $D_m = 1417,7 \text{ Р}$ , а допустима –  $10^4 \text{ Р}$ . Отже, електрична частина сонячної електричної станції є стійкою в

умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 2378 год., при рівні радіації 4,79 Р/год.

### 5.5.2 Дослідження стійкості роботи ЗРП-10 кВ електричної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = E_b \cdot 10^{-3}, \text{ кВ/м,}$$

$$E_r = 10,6 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 10,6 \text{ (В/м).}$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки [15].

$$U_{ri} = E_b \cdot l_{ri}, \text{ В,}$$

$$U_{ri} = 10,6 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 5300 \text{ (В).}$$

$$U_{vi} = E_r \cdot l_v, \text{ В,}$$

$$U_{vi} = 10,6 \cdot 0,5 = 5,3 \text{ (В).}$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (5.3)$$

де N – відсоток допуску.

$$U_d = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ (В);}$$

$$U_d = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В);}$$

$$U_{\dot{a}} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В).}$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

$$K_{\sigma} = 20 \cdot \lg \frac{U_d}{U_{r(v)}} \geq 40 \text{ [дБ],}$$

Горизонтальної та вертикальної складової напруженостей:

$$K_{\sigma_{r1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{5300} = -52,47 \text{ (дБ);}$$

$$K_{\sigma_{v1}} = 20 \cdot \lg \frac{12,6}{5,3} = 7,5 \text{ (дБ);}$$

$$K_{\sigma_{r2}} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{5300} = -46,45 \text{ (дБ);}$$

$$K_{\sigma_{v2}} = 20 \cdot \lg \frac{25,2}{5,3} = 13,54 \text{ (дБ);}$$

$$Kb_{r3} = 20 \cdot \lg \frac{399}{5300} = -22,46 \text{ (дБ)}; \quad Kb_{v3} = 20 \cdot \lg \frac{399}{5,3} = 37,53 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.9.

Таблиця 5.9 – Значення коефіцієнтів безпеки блоків СЕС

№	Найменування блоків	$Kb_{r}$ , дБ	$Kb_{v}$ , дБ	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-52,47	7,5	Нестійкий
2	Блок управління, 24 В	-46,45	13,54	Нестійкий
3	Силові елементи, 380 В	-22,46	37,53	Нестійкі

Границя стійкості блоку живлення  $Kb_{\min} = -52,47$  (дБ), блоку управління  $Kb_{\min} = -46,45$  (дБ), а силового кола  $Kb_{\min} = -22,46$  (дБ). Отже, електрична частина СЕС є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості необхідно використати екранування напівпровідникових елементів та горизонтальних струмопровідних елементів.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 - Kb_{\min}. \quad (5.4)$$

Для блоку живлення:

$$A_1 = 40 + 52,47 = 92,47 \text{ (дБ)};$$

для блоку управління:

$$A_2 = 40 + 46,45 = 86,45 \text{ (дБ)};$$

для блоку силових елементів:

$$A_3 = 40 + 22,46 = 62,46 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.5)$$

де  $f$  - найбільш характерна частота, ( $f = 15$  кГц).

Для блоку живлення:

$$t_1 = \frac{92,47}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,14 \text{ (см)};$$

для блоку управління:

$$t_2 = \frac{86,45}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,13 \text{ (см)};$$

для блоку силових елементів:

$$t_3 = \frac{62,46}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,1 \text{ (см)}.$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною 0,14 см зі сталі, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,1 см, силові елементи будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В умовах дії іонізуючого випромінювання електрична частина СЕС залишається стійкою. Тому іонізуюче випромінювання для обладнання не є таким небезпечним, як для обслуговуючого персоналу. Після проведених розрахунків визначено, що робота системи автоматики стійка при заданому рівні радіації 4,25 Р/год. До дії ЕМІ система керування виявилась нестійкою. Застосування екранування блокам управління і автоматики СЕС суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів станція буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 10,6 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії ЕМІ є зменшення довжини струмопровідних частин шляхом вдосконалення схемокомпоновки та екранування кабелів живлення, елементів управління та автоматики СЕС.

**Висновки.** У розділі для мінімізації ризику травматизму та професійних захворювань виконано аналіз умов праці робіт пов'язаних з обслуговуванням розподільних електричних мереж. Досліджено організаційні та технічні заходи, якими досягається безпека при обслуговуванні розподільних електричних мереж. Виконано розрахунок захисного заземлення для обладнання в ЗРП-10 кВ, пожежної безпеки будівлі ЗРП-10 кВ, безпеки у надзвичайних ситуаціях.



## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто проблеми балансування режимів електроенергетичних систем з фотоелектричними станціями.

Підтримка стійкої роботи електроенергетичної системи є досить складним завданням. Для компенсації нестабільності генерування ВДЕ в задачі балансування застосовуються різні методи контролю СЕС для покращення частотної характеристики за критеріями підтримки балансу. Вказані стратегії потребують додаткових капіталовкладень або зменшення потужності генерування, тому проблема залишається актуальною.

Використання накопичувача електроенергії є економічно виправданим у разі короткочасних перебоїв у роботі ВДЕ, що призведе до часткової стабілізації початкових параметрів ВДЕ (зменшення коливань частоти), підключеної до електромережі, та поліпшити якість електроенергії. Для підвищення ефективності використання різних типів ВДЕ та забезпечення надійного електропостачання споживачів якісною електроенергією відповідно до графіка навантаження необхідно створити систему управління ВДЕ з урахуванням їх розподілу в просторі та часі.

Основні результати досліджень є такими:

1. Використання типових значень коефіцієнтів форми графіків навантаження (1.1-1.15) призводить до істотного недорахування втрат електроенергії в мережах 0,4 кВ з СЕС;
2. Збільшення частки СЕС у покритті корисного відпуску призводить до зростання похибки визначення втрат електроенергії;
3. В залежності від обсягів вироблення енергії СЕС міняються кількість ЛЕП, де напрямки переті-кань електроенергії міняються протягом доби, що призводить до необхідності застосування більших значень коефіцієнтів форми (1.2-1.7)
4. Значення втрат корелює з обсягом генерування СЕС – збільшення

обсягів генерування вимагають застосування більших значень  $K_{ф2}$

5. Якщо врахувати залежність з п.4, то розрахункові втрати будуть близькими до звітних (максимальна похибка не перевищує 2%)

6. Для розрахунків за укрупненими показниками можна використовувати сталі значення  $K_{ф2}=1.5$  (похибка визначення втрат за укрупненими показниками поглинає похибку визначення  $K_{ф2}$ )

7. Збільшення частки корисного відпуску, що покривається СЕС призводить до зростання втрат в мережах завдяки різним графіками генерування СЕС та навантаження. Збільшення частки до 40% гарантовано призводить до збільшення втрат

8. Для виконання розрахунків втрат в ЕМ 0.4 кВ з СЕС слід враховувати не лише обсяг надходження від них, але й графік цього надходження. Оскільки такі дані є недоступні, то похибка визначення втрат ЕЕ не може бути нижчою за 2%

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. G. G. Yan, G. Q. Xie, J. H. Li, J. Wang, Y. Zhu and L. Ding, Review of Energy Storage System in Electric Power System, Journal of Northeast Dianli University, Vol. 31, No. 3, pp.7-12, Jun. 2011.
2. X. Liang and J. Cao, Brief Analysis on Impact of Large scale Battery based Energy Storage on Stability of Power Grid, Building Electricity, Technical Acoustics, Vol. 32, No. 11, pp.66-68, Nov. 2013.
3. N. Luo and J. L. Li, Research Progress of Energy Storage Technology in Power System, Power System and Clean Energy, Vol. 28 No. 2, pp71-79, Fre. 2012.
4. X. R. Li, J. Y. Huang, Y. Y. Chen and W. J. Liu, Review on large- scale involvement of energy storage in power grid fast frequency regulation, Power System Protection and Control, Vol. 44, No. 7, pp.145-153, Apr. 2016.
5. Du, E., Zhang, N., Hodge, B.-M., Wang, Q., Lu, Z., Kang, C., Xia, Q. (2018). Operation of a High Renewable Penetrated Power System with CSP plants: A Look-ahead Stochastic Unit Commitment Model. In IEEE Transactions on Power Systems, 2018. Doi:10.1109/tpwrs.2018.2866486.
6. Hui, G., Tiejun, L., Xin, S., Hong, Y., John, M.C. (2016). EnergyEfficient Resource Allocation for Massive MIMO Amplify-and-Forward Relay Systems. In 16th International Conference on the European Energy Market, 2016 (pp. 2771–2787). Doi: 10.1109/ACCESS.2016.2570805.
7. Veremiichuk, Y., Zamulko, A., Zaichenko, S., Mahnitko, A., Berzina, K., Zicmane, I. (2018). Analysis of Electric Energy Supply Security Attached to Renewable Energy Sources Implementation. In X International Conference on Electrical and Power Engineering, 18–19 October 2018. Iași, Romania.
8. Wang, Z., Luo, D., Li, R., Zhang, L., Liu, C., Tian, X., He, J. (2017).

- Research on the active power coordination control system for wind/photovoltaic/energy storage. In IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, 2017. Doi:10.1109/ei2.2017.8245403.
9. Wang, X., Liu, Y. (2017). Analysis of Energy Storage Technology and Their Application for Micro Grid. In International Conference on Computer Technology, Electronics and Communication, 2017. Doi:10.1109/icctec.2017.00215.
  10. Berry, I., Heinzmann, J. (2016). Economics of energy storage for dispatchable solar. In IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2016. Doi:10.1109/pesgm.2016.7741165.
  11. Yakymenko, Y.I., Sokol, Y.I., Zhuikov, V.I., Peterheria, Y.S., Ivanin, O.L. (2001). Renewable energy at local sites. Ukraine: Kyiv: Polytechnics.
  12. Kleinberg, M., Mirhosseini, N.S., Farzan, F., Hansell, J., Abrams, A., Katzenstein, W., Jafari, M.A. (2014). Energy Storage Valuation Under Different Storage Forms and Functions in Transmission and Distribution Applications. Proceedings of the IEEE, 102(7), 1073–1083. Doi:10.1109/jproc.2014.2324995.
  13. Zaharov, A.M. (2014). Reduction of voltage deviations at places of connection of powerful solar power plants to power grids. *Tekhnichna elektrodynamika*, 5, 44–46.
  14. Hao, C., Yanbing, J., Jin, Z., Yanfang, Z., Gang, L., Dong, X. (2019). Energy Storage Frequency Regulation Energy Management Strategy Based on KMeans Analysis. In IEEE 3rd International Conference on Green Energy and Applications, 2019. Doi:10.1109/icgea.2019.8880782.
  15. Jing, Li.J., Wei, W., Xiang, J.A. (2012). Simple Sizing Algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery Hybrid Microgrids. *Energies*, 5, 5307–5323.
  16. Ponnambalam, K., Saad, Y.E., Mahootchi, M., Heemink, A.W. (2010). Comparison of methods for battery capacity design in renewable energy systems for constant demand and uncertain supply. In 7th International

Conference on the European Energy Market, 2010.

Doi:10.1109/eem.2010.5558745.

17. Veremiichuk, Y., Prytyskach, I., Yarmoliuk, O., Opryshko, V. (2019). Energy sources selection for industrial enterprise combined power supply system. In IEEE 6th International conference on Energy Smart Systems, 17–19 April 2019 (pp. 283–288). Ukraine, Kyiv.
18. Veremiichuk, Y. Berzina, K., Zicmane, I., Mahnitko, A., Patel, D.K. (2019). Optimal power flow in power system in Latvian market conditions. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 19 (4.1), 369–375.
19. Root, C., Presume, H., Proudfoot, D., Willis, L., Masiello, R. (2017). Using battery energy storage to reduce renewable resource curtailment. In IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, 2017. Doi:10.1109/isgt.2017.8085955.
20. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1983
21. Мягченко О. П. Безпека життєдіяльності людини та суспільства : навч. посіб. / О. П. Мягченко. – Київ : Центр учбової літератури, 2010. – 384 с.
22. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
23. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1983
24. "Правила устройства электроустановок" (ПУЭ-1987), шосте видання, Енергоатомвидав, 1987.
25. Бондаренко Є. А. Пожежна безпека : навч. посіб./ Є. А. Бондаренко. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 109 с.

# ДОДАТОК А

## Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

### ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: Аналіз переваг підключення системи накопичення енергії до розподільної мережі та їх впливу на якість напруги

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ Кафедра електричних станцій та систем  
(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Науковий керівник к.т.н., доцент Бурикін О.Б.  
(прізвище, ініціали, посада)

#### Показники звіту подібності

Unicheck	
Оригінальність	88,3
Схожість	11,7

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор [підпис]  
(підпис)

Шпильовий О.О.  
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Магістерську кваліфікаційну роботу допустити до захисту

Особа, відповідальна за перевірку [підпис]  
(підпис)

Гриник В.А.  
(прізвище, ініціали)

Керіник роботи [підпис]  
(підпис)

Бурикін О.Б.  
(прізвище, ініціали)

Експерт  
(за потреби) [підпис]  
(підпис)

Комар В.О., зав. каф ЕСС  
(прізвище, ініціали, посада)

## ДОДАТОК Б

### Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

\_\_\_\_\_ (підпис)

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ПІДКЛЮЧЕННЯ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ  
ДО РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ НАПРУГИ  
08-13.МКР.011.00.004 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н.

\_\_\_\_\_ Бурикін О.Б.

(підпис)

Магістр групи ЕСМ-20м

\_\_\_\_\_ Шпильовий О. О.

(підпис)

Вінниця 2021 р.

## **1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)**

- а) актуальність досліджень обумовлена тим, що у розподільних електричних мережах все більшу роль відіграють системи накопичення енергії (СНЕ) у якості технічної підтримки інтелектуальної розподільної мережі;
- б) наказ ректора ВНТУ № 277 від 24 вересня 2021 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

## **2. Мета і призначення МКР**

- а) мета – визначення доцільної потужності накопичувача у розподільних електричних мережах та дослідженням їх впливу на режим роботи мережі;
- б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

## **3. Джерела розробки**

Список використаних джерел розробки:

1. G. G. Yan, G. Q. Xie, J. H. Li, J. Wang, Y. Zhu and L. Ding, Review of Energy Storage System in Electric Power System, Journal of Northeast Dianli University, Vol. 31, No. 3, pp.7-12, Jun. 2011.
2. X. Liang and J. Cao, Brief Analysis on Impact of Large scale Battery based Energy Storage on Stability of Power Grid, Building Electricity, Technical Acoustics, Vol. 32, No. 11, pp.66-68, Nov. 2013.
3. N. Luo and J. L. Li, Research Progress of Energy Storage Technology in Power System, Power System and Clean Energy, Vol. 28 No. 2, pp71-79, Fre. 2012.
4. X. R. Li, J. Y. Huang, Y. Y. Chen and W. J. Liu, Review on large- scale involvement of energy storage in power grid fast frequency regulation, Power System Protection and Control, Vol. 44, No. 7, pp.145-153, Apr. 2016.

## **4. Технічні вимоги до виконання МКР**



## ПЕРЕДБАЧАЄТЬСЯ СПОРУДЖЕННЯ НАКОПИЧУВАЧА У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.

– технічне обслуговування і ремонт: експлуатація, технічне обслуговування та ремонт обладнання буде здійснювати оперативний та ремонтний персонал електричних мереж.

### 5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники роботи накопичувача і на основі їх аналізу зробити висновок про доцільність спорудження такої станції.

### 6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.21	06.09.21	формування технічного завдання
2	Аналіз технологій акумулювання енергії	07.09.21	12.09.21	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Визначення оптимальної ємності накопичувача електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії	13.09.21	05.10.21	розділ 2
4	Визначення оптимальної ємності накопичувача у	06.10.21	20.10.21	розділ 3

	розподільних електричних мережах 0,4 кВ			
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.11.21	10.11.21	розділ 5
7	Техніко-економічна частина	11.11.21	16.11.20	розділ 6
8	Оформлення пояснювальної записки	17.11.21	25.11.20	пояснювальна записка
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	26.12.21	30.11.21	плакати, презентація

### **7. Матеріали, що подаються до захисту МКР**

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

### **8. Порядок контролю виконання та захисту МКР**

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

### **9. Вимоги до оформлення МКР**

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

### **10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом**

Відсутні.