

Вінницький національний технічний університет

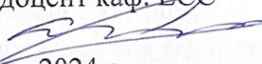
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

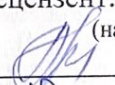
Бакалаврська дипломна робота на тему:

ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ПОКРИТТЯ НЕБАЛАНСІВ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ З
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Виконав: студент 4 курсу, групи 1ЕЕ-206
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електроенергетика та електротехніка»,
Євдокимов К. Р. 

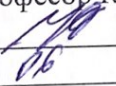
Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС
Вишневецький С. Я. 

« 10 » серпня 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ЕСССМ
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)
 Павленко О.В.

« 17 » 06 2024 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.


« 17 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«11» 13 2024 р.

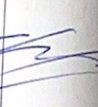
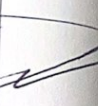
ЗАВДАННЯ **НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Свдокимову Костянтину Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи «Використання накопичувачів електричної енергії для покриття небалансів в електричній системі з відновлюваними джерелами»
Керівник роботи к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС Вишневський С.Я.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 11.03.2023 №80
- Термін подання студентом роботи 08 червня 2023 року
- Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи:
1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с. 2. «ПТЕ Технічна експлуатація електричних станцій та мереж.» 3. Електричні системи і мережі. Частина 1: навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський. Вінниця : ВНТУ, 2020. 203 с.
4. Зміст текстової частини: Перелік скорочень. Вступ.1.РОЗДІЛ ЗАГАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ОЕС. 2. ЗАСТОСУВАННЯ ЛІТІЙ-ІОННИХ НАКОПИЧУВАЧІВ HUAWEI TECHNOLOGIES В ПРОЕКТІ. 3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ. 4. Розділ Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Типовий добовий графік навантаження енергосистеми і його покриття електростанціями. 2. Напрями енергетичної диверсифікації. 3. Встановлена потужність ОЕС України та частка відновлюваної енергії у генерації та встановленій потужності 4. Усереднений річний графік видачі потужності СЕС. 5. Класифікація систем зберігання енергії. 6. Будова УЗЕ та шафи збору потужності. 7. План території об'єкту та головна електрична

схема КТП-10/0,8-6300 кВА. 8. Структура лібералізованого ринку
електричної енергії.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Вишневський С.Я. к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О.В. д. пед. н., проф., завідувач каф.		

7. Дата видачі завдання 16 січня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Прізвище, ініціали та посада консультанта
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження теми БДР	16.03.2024	17.03.2024	
2	Вступ. Огляд літературних джерел	18.03.2024	20.03.2024	
4	Теоретичні основи накопичувачів електроенергії	01.04.2024	06.04.2024	
5	Вибір обладнання для систем зберігання енергії та економічне обґрунтування їх застосування	19.04.2024	25.04.2024	
6	Виконання розділу охорони праці	26.04.2024	30.04.2024	
7	Формування висновків по роботі	01.05.2024	09.05.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки	15.05.2024	20.05.2024	
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	21.05.2024	30.05.2024	
10	Перевірка БДР на плагіат. Попередній захист БДР	04.06.2024	05.06.2024	
11	Рецензування БДР	07.06.2024	09.06.2024	
	Захист БДР	13.06.2024	14.06.2024	

Студент _____

Керівник роботи _____

(підпис)

(підпис)

Свдокимов К.Р.

Вишневський С.Я

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311

Євдокимов Костянтин Романович. «Використання накопичувачів електричної енергії для покриття небалансів в електричній системі з відновлювальними джерелами енергії». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2024. – 85 с. Бібліогр.: 14. Рис. : 30. Табл. : 11.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі буде досліджено місце відновлювальної енергетики в об'єднаній енергосистемі України, та її вплив на стан об'єднаної енергосистеми. Описано способи підтримання номінального рівня частоти в енергосистемі за допомогою різних систем зберігання енергії, що здатні накопичувати електроенергію від небалансів в енергосистемі і таким чином брати участь в регулюванні частоти. В роботі досліджено використання електрохімічного накопичувача електроенергії, в комплекті із трансформаторною підстанцією, що буде заряджатися від сонячної електростанції і даватиме можливість власнику об'єкта відновлювальної енергетики нівелювати шкоду від похибок прогнозування виробітку електроенергії, та отримувати прибуток на балансуєчому ринку електроенергії за рахунок продажу електроенергії за спеціально розрахованим тарифом, що буде робити використання систем зберігання енергії економічно доцільним для потенційних інвесторів у відновлювальну енергетику.

Ключові слова: відновлювальна енергетика, системи зберігання енергії, небаланси, частота, активна потужність.

ABSTRACT

Yevdokymov K. R. «Use of electrical energy accumulators to cover imbalances in the electrical system with renewable energy sources» - Vinnytsia National Technical University, 2024. - — 85 p. Bibliography:14. Drawings: 30 Tables:11.

In the bachelor qualification work, will examine the the place of renewable energy in the united energy system of Ukraine, and its impact on the state of the united energy system. Methods of maintaining the nominal frequency level in the power system using various energy storage systems, that are able to accumulate electricity from imbalances in the power system and thus participate in regulation of frequency. The work investigated the use of electrochemical storage of electricity, complete with transformer substation, that will be charged from a solar power plant and will enable the owner of the renewable energy facility to neutralize the damage from errors in forecasting electricity generation, and make a profit in the balancing electricity market by selling electricity at a specially calculated tariff, which will make the use of energy storage systems economically feasible for potential investors in renewable energy.

Keywords: renewable energy, energy storage systems, imbalances, frequency, active power.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 РОЗДІЛ ЗАГАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ОЕС	8
1.1 Баланс в ОЕС	8
1.2 ВДЕ як частина ОЕС	14
1.3 Вплив ВДЕ на баланс електроенергії в ОЕС	21
1.4 Системи зберігання електроенергії	24
2 ЗАСТОСУВАННЯ ЛІТІЙ-ІОННИХ НАКОПИЧУВАЧІВ HUAWEI TECHNOLOGIES В ПРОЕКТІ	45
2.1 Опис ідеї застосування накопичувачів в проекті	45
2.2 Загальна інформація про літєві накопичувачі електроенергії Huawei Technologies	45
2.3 Розрахунок обладнання КТП.....	50
3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ	63
3.1 Місце ВДЕ на ринку електричної енергії	63
3.2 Економічна ідея застосування накопичувачів електричної енергії.....	66
3.3 Обґрунтування додаткової стимуляції використання накопичувачів електричної енергії	67
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	72
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	72
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць....	72
4.1.2 Електробезпека.....	75
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії.....	77
4.2.1 Мікроклімат.....	77
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	77

4.2.3 Виробниче освітлення.....	78
4.2.4 Виробничий шум.....	79
4.3 Пожежна безпека.....	80
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
ДОДАТОК А Протокол перевірки навчальної роботи.....	87
ДОДАТОК Б.....	88

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЕС	атомна електрична станція
БР	балансуючий ринок
ВДЕ	відновлювані джерела енергії
ВЕС	вітрова електрична станція
ГАЕС	гідроаккумулятивна електрична станція
ГТУ	газотурбінна електрична станція
КЕС	конденсаційна електрична станція
ККД	коефіцієнт корисної дії
КТП	комплектна трансформаторна підстанція
ЛЕП	лінія електропередавання
ОЕС	об'єднана електроенергетична система
ОСП	оператор системи передачі
ОСР	оператор системи розподілу
РГ	розподілене генерування
СЕС	сонячна електрична станція
ТВП	трансформатор власних потреб
ТЕЦ	теплоелектро цетраль
УЗЕ	установка зберігання енергії

ВСТУП

Актуальність роботи. Значний розвиток відновлюваної енергетики в останні роки сприяв значному збільшенню кількості генеруючих установок ВДЕ. Користь від використання відновлюваної енергетики з точки зору її впливу на екологію зумовило державу підтримувати потенційних інвесторів для залучення їх до розвитку відновлюваної енергетики.

Більшість електроенергії, що виробляється енергоустановками ВДЕ надходить в енергомережу від сонячних та вітрових електростанцій. Їхня робота в енергомережі пов'язана із процесами прогнозування відпуску та споживання електроенергії. Прогнозування відпуску та споживання електроенергії дає змогу передбачити виробіток електроенергії протягом деякого терміну часу, використовуючи метеодані, інформацію із навколишнього середовища, які впливають на обсяги виробітку електроенергії, внаслідок впливу погодних явищ на фізичні процеси генерування енергії із сонячних панелей і вітрогенераторів. Похибки прогнозування призводять до появи небалансів в енергосистемі.

Недотримання балансу в енергосистемі призводить до відхилення рівня частоти від номінального значення, зміни рівня вузлових напруг, і в цілому до зміни режиму роботи енергосистеми, що негативно впливає на хід технологічних процесів, тому виникає необхідність регулювання потужності. Регулюванням потужності в енергосистемі займаються маневрові електростанції, ГАЕС, що завдяки своїм властивостям здатні швидко змінювати свою потужність за дуже короткий проміжок часу: від кількох десятків секунд до кількох хвилин, ГАЕС працюють в піковій частині графіка навантаження, коли споживання електроенергії найбільше.

Стратегія розвитку Української енергетики передбачає, що відбуватиметься значне збільшення частки потужності відновлюваних джерел в Об'єднаній енергетичній системі, від так це означає, що зі збільшенням кількості сонячних та вітрових електростанцій буде

збільшуватися і відповідно кількість згенерованих від ВДЕ небалансів потужності, що будуть виливати на енергосистему.

Мета і задачі дослідження: Зараз існує проблема із ВДЕ в контексті їх непередбачуваного характеру видачі потужності, і подальшим створенням від них небалансів, і один із можливих варіантів вирішення цієї проблеми – це застосування систем зберігання енергії, що накопичуватимуть і віддаватимуть електричну енергію в енергомережу.

Існує чимало способів накопичення енергії, вони різняться між собою сферою застосування, енергетичною ефективністю, потенціалом можливого розвитку технологій, та вартістю.

Застосування систем зберігання енергії повинно допомогти регулювати потужність в енергомережі та підтримувати частоту на належному рівні, завдяки значному технологічному розвитку та можливості здешевлення технологій в майбутньому вони можуть стати окремими складовими енергомережі, працюючи в комплексі із іншими елементами забезпечувати стабільний розвиток Об'єднаної енергетичної системи.

Об'єктом дослідження є сонячна електростанція.

Предметом дослідження є регулювання небалансів від джерел відновлювальної енергетики.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна отриманих результатів полягає у підходах при оцінці використання накопичувачів електричної енергії для покриття небалансів в електричній системі.

Особистий внесок здобувача

Усі результати, які складають основний зміст роботи, отримані автором самостійно.

1 РОЗДІЛ ЗАГАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ОЕС

1.1 Баланс в ОЕС

Однією із основних особливостей функціонування енергетичної системи, і те, що її відрізняє від інших секторів економіки є необхідність дотримання рівності між виробленням електричної енергії і її споживанням, тобто потреба у дотриманні балансу [1]. Тобто, в кожен, як завгодно малий проміжок часу, в електроенергетичній системі повинен суворо дотримуватися баланс між виробництвом і споживанням (включаючи втрати на передачу і розподіл) електричної енергії.

$$\Sigma P_r = \Sigma P_c = \Sigma P_n + \Sigma \Delta P_v, \quad (1.1)$$

$$\Sigma Q_r = \Sigma Q_c = \Sigma Q_n + \Sigma \Delta Q_v \quad (1.2)$$

Недотримання балансу електричної енергії призводить до порушення нормального функціонування електричної системи.

Порушення балансу активної потужності приводить до зміни частоти, що є одним із найважливіших параметрів енергосистеми, забезпечення якого визначає ефективність і надійність роботи енергосистеми. Забезпечення нормативних умов щодо якості електроенергії відбувається згідно з регламентом, і для частоти в документі встановлено такі межі [2]:

- нормальне відхилення – в межах $\pm 0,2$ Гц,
- граничне відхилення – в межах $\pm 0,4$ Гц.

Наведені норми відхилення частоти допускаються в нормальному режимі роботи енергосистеми, не поширюються на післяаварійні режими .

Такі жорсткі вимоги пояснюються значним впливом частоти на режими роботи електрообладнання, хід технологічних процесів, так як зниження частоти в енергосистемі призводить до зменшення швидкості обертання

всіх працюючих електродвигунів, при цьому знижується продуктивність з'єднаних з ними механізмів, зниження частоти збільшує втрати в електричних мережах. Крім цього знижена частота впливає на термін служби обладнання, що містить елементи із сталлю (електродвигуни, трансформатори, реактори зі сталевим магнітопроводом), за рахунок збільшення струму намагнічування в таких апаратах і додаткового нагріву сталевих сердечників.

Зниження частоти виникає внаслідок зменшення обсягів генерування активної потужності, коли її значення менше ніж значення активної потужності, що споживається:

$$\Sigma P_r < \Sigma P_c . \quad (1.3)$$

Збільшення частоти навпаки виникає внаслідок зменшення обсягів споживаної активної потужності, коли її значення менше ніж значення активної потужності, що генерується:

$$\Sigma P_r > \Sigma P_c . \quad (1.4)$$

Баланс реактивної потужності впливає на рівень напруги в мережі. Якщо згенерована реактивна потужність більша ніж та, що споживається:

$$\Sigma Q_r > \Sigma Q_c , \quad (1.5)$$

то напруга в мережі знижується.

Відхилення рівня напруги від номінального значення має негативний вплив на споживачів електроенергії: освітлення, електродвигуни, електротехнічні установки. Знижується термін служби ламп освітлення, знижується ефективність роботи електроприводу двигунів, так як момент

обертання ротора двигуна прямо залежить від прикладеної напруги, при підвищенні напруги знижується термін служби обладнання, підвищується ймовірність аварій.

Регулювання частоти в електричній мережі реалізується шляхом регулювання обсягів генерування та споживання активної потужності. Підтримка нормальної частоти, що відповідає вимогам стандарту, є технічною, а не науковою задачею, основний шлях вирішення якої - введення генеруючих потужностей з метою створення резервів потужності в мережах енергопостачальних організацій.

Збільшення частоти відбувається при різкому скиданні навантаження, що є досить рідкісним явищем в сталому режимі роботи мережі, і зменшується до нормального рівня при зменшенні потужності генераторів, чи вимкненні частини із них.

Повернення частоти до нормального рівня, внаслідок її зниження, відбувається через збільшення генерування активної потужності, тобто мобілізації резерву потужності в системі, чи автоматичним частотним розвантаженням (АЧР).

Мобілізація резерву вимагає збільшення генерування потужності генераторами, і здійснюється за допомогою автоматичного регулювання швидкості обертання турбіни, при цьому змінюючи відпуск енергоносія (пари чи води) через турбіну. Такий процес зміни частоти під дією таких регуляторів називається первинним регулюванням частоти. Це регулювання частоти забезпечує стабільність частоти, тобто утримання відхилень частоти в допустимих межах при порушенні загального балансу потужності в будь-якій частині об'єднання і за будь-якої причини.

Якщо резерв станцій, що беруть участь у регулюванні частоти недостатній чи вичерпаний, а частота в системі не досягла номінального значення, то в такому випадку застосовується АЧР.

АЧР призначене для швидкого відновлення балансу потужності, при її дефіциті електричної потужності, відбувається відключення частини менш

відповідальних споживачів третьої категорії, для яких відключення енергії не пов'язане з матеріальними або фізичними збитками, в останню чергу відключаючи найбільш відповідальних споживачів першої категорії, переривання електропостачання яких може спричинити небезпеку для життя людей, значні збитки народному збитку, масовий брак продукції, розлад технологічного процесу [3].

При зниженні частоти на величину dF відбувається спрацювання реле частоти, що входить до складу пристроїв АЧР, що спричиняє почергове відключення частини споживачів. АЧР відключає споживачів так, щоб частота не знизилася нижче за гранично допустиму за умовами роботи технологічного обладнання електростанцій 46 Гц.

Для додаткового коригування частоти в системі застосовують вторинне регулювання частоти, що забезпечує відновлення номінального рівня частоти та оперативне або автоматичне регулювання планових режимів обміну заданої потужності між енергосистемами. Завдання вторинного регулювання частоти та потужності – зміна активної потужності спеціально виділених електростанцій для компенсації небалансу потужності, ліквідації перевантаження транзитних зв'язків, відновлення частоти і заданих зовнішніх перетоків та відновлення резервів первинної регулюючої потужності, витрачених під час дії первинного регулювання. Відповідно до вітчизняних нормативів, створюється резерв вторинного регулювання (вторинний резерв), що відповідає значенню максимально можливої зміни потужності енергоблоку (агрегата), електростанції, всієї ЕЕС. Вторинне регулювання ведеться або автоматичними регуляторами частоти або обслуговуючим персоналом системи, який контролює частоту по показанням приладів.

Регулювання реактивної потужності, а від так і рівня напруги в системі на відміну від регулювання активної потужності, регулюють шляхом генерування додаткової реактивної потужності не лише генераторами, а й компенсуючими установками – конденсаторами, синхронними

компенсаторами, чи статичними джерелами реактивної потужності (ДРП), що можна встановлювати на ПС електричних систем.

Для зменшення перетоків реактивної потужності по ЛЕП та трансформаторам ДРП повинні розміщуватися поблизу місць, її споживання.

Регулювання частоти в електроенергетичній системі здійснюють за допомогою кількох електростанцій. Ці станції балансуються по частоті, та сприймають на себе всі зміни спожитої потужності в системі. Вони змінюють своє навантаження на величину, на яку змінюється сумарна споживана потужність в системі.

Типовий добовий графік навантаження енергосистеми має три характерні зони: базову, пікову і напівпікову, типовий графік навантаження зображений на рисунку 1.1.

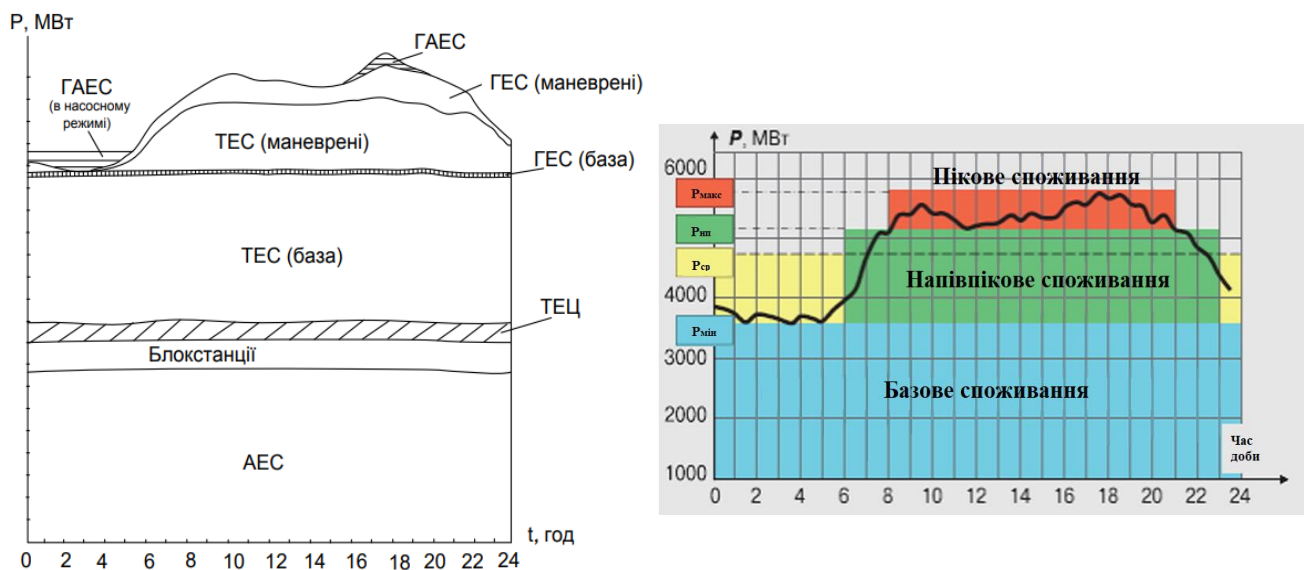


Рисунок 1.1 Типовий добовий графік навантаження енергосистеми і його покриття електростанціями

Електростанції, що беруть участь у покритті базисної частини графіка, працюють безупинно, вони несуть постійне навантаження впродовж

більшої частини року, у базовій зоні графіка навантаження працюють АЕС, високоекономічні КЕС, а також ТЕЦ при їхній роботі по тепловому графіку.

Напівпікова частина графіка навантаження системи покривається КЕС, що переводяться на знижену потужність, або виводяться в резерв при зменшенні загального електричного навантаження, вони забезпечують резервну потужність, згладжують коливання попиту, підтримують стабільність мережі та знижують витрати на електроенергію.

Пікові навантаження покривають ГЕС, ГАЕС, ГТУ. Пікові електростанції вмикаються, коли необхідно покривати пікову частину добового графіка електричного навантаження, на відміну від електростанцій, що працюють в базовій зоні графіка навантаження, які не можуть регулювати свою потужність через конструктивні особливості вироблення електроенергії, пікові електростанції здатні регулювати частоту та обмінні перетoki потужності із іншими енергосистемами, володіють високою маневреністю і значним регулювальним діапазоном і високими швидкостями зміни навантажень, пуск гідроагрегатів із зупиненого положення в турбінному режимі із синхронізацією та повним набором потужності становить 1–2 хв., а при обертанні на холостому ході – 15–30 с. Зміна потужності гідроагрегата або його зупинка вимагають кілька секунд.

ГАЕС завдяки своїм властивостям і багатофункціональності беруть участь у регулюванні потужності, забезпечують підвищення навантажень КЕС і АЕС у провальній частині добового графіка, тобто вирівнювати цим базову частину графіка. Зміна потужності на агрегатах ГЕС та ГАЕС ПрАТ «Укргідроенерго» триває від кількох десятків секунд до декількох хвилин.

У випадку аварії в енергосистемі з великими генеруючими джерелами, відбувається швидке включення ГАЕС у турбінний режим або перемикання ГАЕС із насосного режиму в турбінний компенсують потужності, загублені енергосистемою, і дозволяють виключити аварійне відключення споживачів. Від так ГАЕС відіграють важливу роль в функціонуванні електричної системи.

1.2 ВДЕ як частина ОЕС

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) – це джерела, що здатні поновлюватися природним шляхом, від так енергетика, що спеціалізується на отриманні та використанні енергії з ВДЕ називається відновлювальною. ВДЕ самостійно поновлюються природним шляхом, до ВДЕ зокрема відноситься енергія сонця, енергія вітру та води, органічна біомаса тощо. ВДЕ належать до класу розподіленого генерування (РГ).

Децентралізоване або розподілене генерування – це система виробництва та передачі енергії, яка передбачає велику кількість споживачів, що водночас є виробниками електроенергії та тепла для власних потреб, і мають можливість передавати надлишки виробленої енергії до загальної мережі, енергетичні установки у системі РГ можуть бути від декількох кіловат до декількох десятків МВт. Це можуть бути сонячні панелі на будинку, малі вітряки, в також комбінації цих та інших технологій. Закон України «Про ринок електричної енергії» визначає розподілену генерацію як “електростанція, встановленої потужності 20 МВт та менше, приєднана до системи розподілу електричної енергії”.

Основні тенденції, що стимулюють впровадження РГ наступні: безперервне електропостачання, спільне вироблення тепла і потужності (когенерація), покриття навантаження в пікові години; екологічно чисте виробництво електричної енергії, електропостачання за наявності жорстких вимог до надійності і якості, відстрочка модернізації транспортної та розподільної мережі, допоміжні послуги з електропостачання. Крім того використання РГ сприяє підвищенню надійності і якості енергопостачання при зменшенні витрат на вироблення, передачу й розподіл електроенергії.

Загальні переваги, що несе в собі впровадження ВДЕ для споживачів, постачальників:

- екологічно чисте виробництво електроенергії,
- зниження збитків від недовідпуску електричної енергії,
- відстрочка інвестицій в модернізації мережевого обладнання.

Крім того розвиток відновлювальної енергетики дозволяє зменшити енергетичну залежність країни, особливо України, підвищити рівень економічної, екологічної та національної безпеки, і відповідно, сприятиме економічному зростанню, та зростанню рівня енергетичної диверсифікації, це один із основних чинників формування енергетичної безпеки, що розглядається у двох основних аспектах:

- диверсифікація поставок енергоносіїв, що означає розширення географії поставок енергетичних ресурсів, збільшення кількості постачальників,

- диверсифікація використання енергії, що передбачає зміни у структурі споживаних енергетичних ресурсів, що дозволяє країні підвищити рівень енергетичної безпеки за рахунок скорочення імпорту енергетичних ресурсів, світовою тенденцією є розширення використання ВДЕ, їх основна перевага – невичерпність ресурсної бази та екологічна чистота, саме тому багато країн планують розширювати використання відновлюваної енергії.



Рисунок 1.2 Напрями енергетичної диверсифікації

З прискоренням глобального процесу електрифікації попит на електроенергію продовжить зростати, особливо це спостерігається в постіндустріальних країнах із значним переважанням сфери послуг в економіці, нище на рисунку 1.3 зображено графік, що показує залежність встановленої потужності від енергетичного розвитку протягом наступних десятиліть.

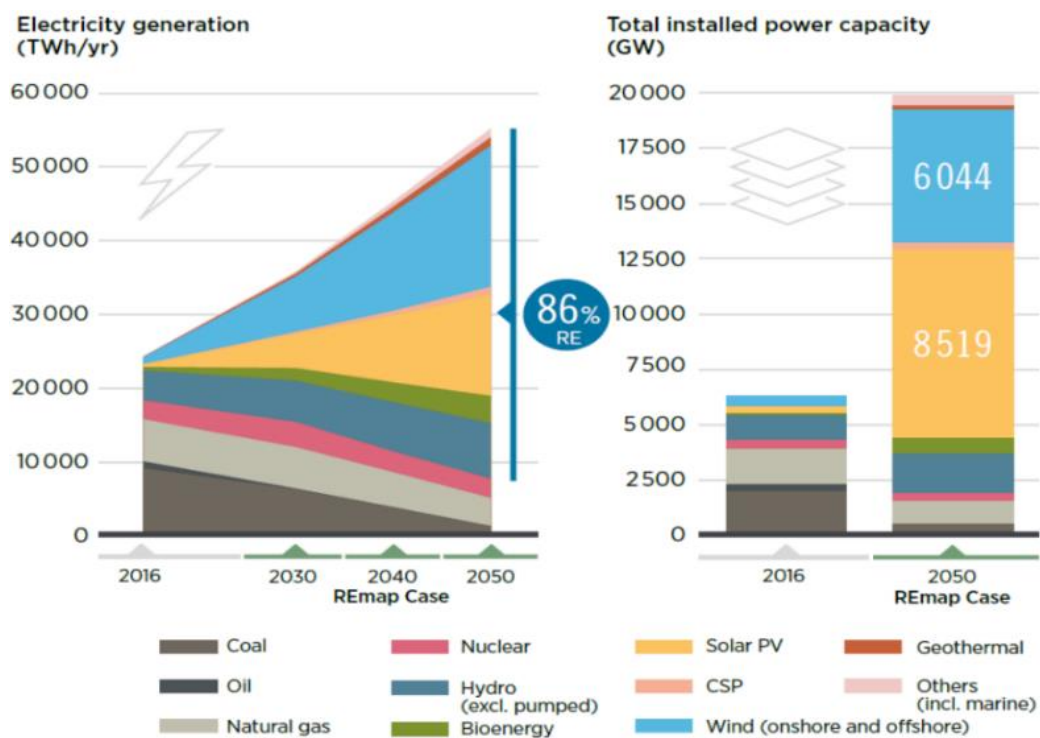


Рисунок 1.3 Частка відновлюваної енергії у генерації та встановленій потужності

Згідно з прогнозом Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA), до 2050 року річна генерація електроенергії в світі досягне 55,000 ТВт·год, в якій відновлювана енергія складе 86%. Загальна встановлена потужність досягне 20,000 ГВт, серед яких ФВ (8510 ГВт) і потужність ВЕС (6044 ГВт) складе 72,8%. ФВ стане основним джерелом енергії в майбутньому.

Завдяки високому потенціалу ВДЕ та ефективному механізму підтримки, та стимулювання за допомогою «зеленого» тарифу український сектор відновлюваної енергетики стрімко розвивається, частка ВДЕ у виробництві електроенергії зросла з 1,8 % у 2018 році до 10 % у 2021 році від встановленої потужності ОЕС України, і продовжує зростати і досягнула 16 % в 2021 році, діаграма встановленої потужності об'єктів генерування зображено на рисунку 1.4.

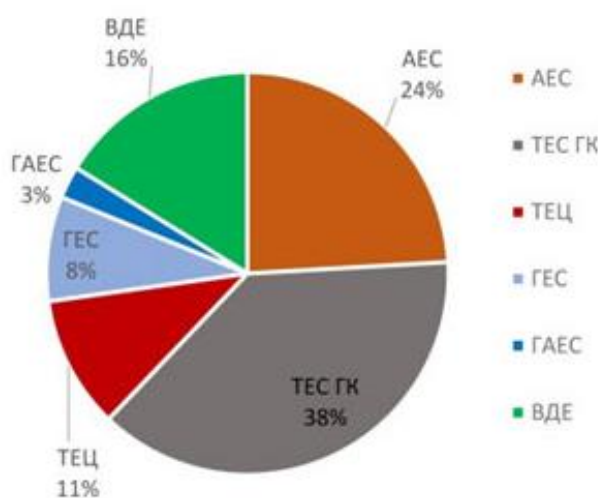


Рисунок 1.4 Встановлена потужність ОЕС України

Повномасштабне вторгнення Російської Федерації спричинило значний вплив на відновлювальну енергетику України. Внаслідок вторгнення РФ Україна втратила 80% вітрових та 20% сонячних електростанцій.

На початок 2022 року загальна встановлена потужність ВДЕ (всі приєднані до мережі) досягла 9,5 ГВт (без урахування 0,6 ГВт потужностей ВДЕ, розташованих на тимчасово окупованих РФ територіях до 24 лютого 2022 року). Протягом 2009-2021 років в сектор ВДЕ України було інвестовано близько \$12 млрд.

Станом на сьогодні 2,5 ГВт (25%) потужностей ВДЕ перебуває в окупації. Зруйновано або пошкоджено близько 6% загальної встановленої потужності ВДЕ.

На початок 2022 року загальна встановлена потужність СЕС (без урахування 0,4 ГВт, розташованих на територіях, тимчасово окупованих РФ до 24 лютого 2022 року) сягнула 7,6 ГВт або 80% від загальної встановленої потужності ВДЕ в Україні (включаючи 45000 установок просьюмерів з загальною потужністю 1,2 ГВт).

Зараз близько 13% українських фотоелектричних потужностей зайняті. Близько 8% загальної встановленої сонячної потужності було знищено або пошкоджено (рисунк 1.5). Після звільнення тимчасово окупованих територій об'єкти ВДЕ поступово вводилися в експлуатацію. У результаті попередніх оглядів було виявлено пошкоджено близько 20% сонячних панелей. Крім того ОСР зіткнулися з технічними складнощами під час прийому більших обсягів виробленої електроенергії через пошкодження мережі.

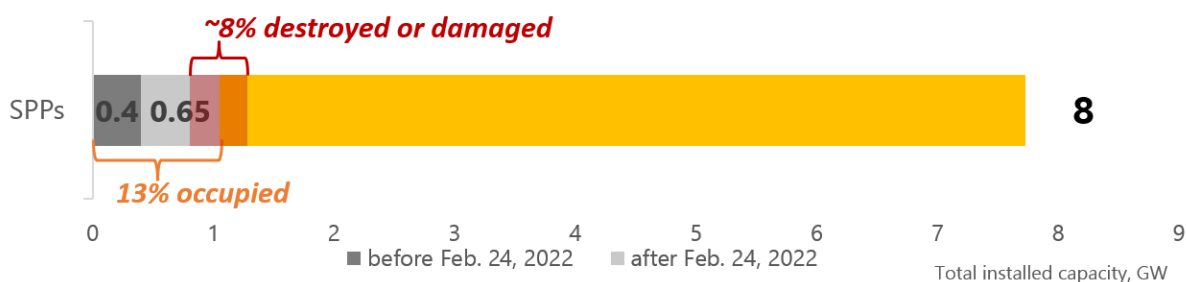


Рисунок 1.5 Розподіл встановленої потужності СЕС внаслідок вторгнення РФ в Україну

На початок 2022 року загальна встановлена потужність ВЕС України (всі наземні) становила 1,6 ГВт.

Майже всі вітроелектростанції України побудовані в південних регіонах на узбережжі Азовського та Чорного морів (Херсонська та

Запорізька області). Зараз південь України перебуває в окупації, саме там є найбільший вітровий потенціал. Таким чином, приблизно 80% потужностей вітрової генерації (рисунок 1.6) розташовано на окупованих територіях.

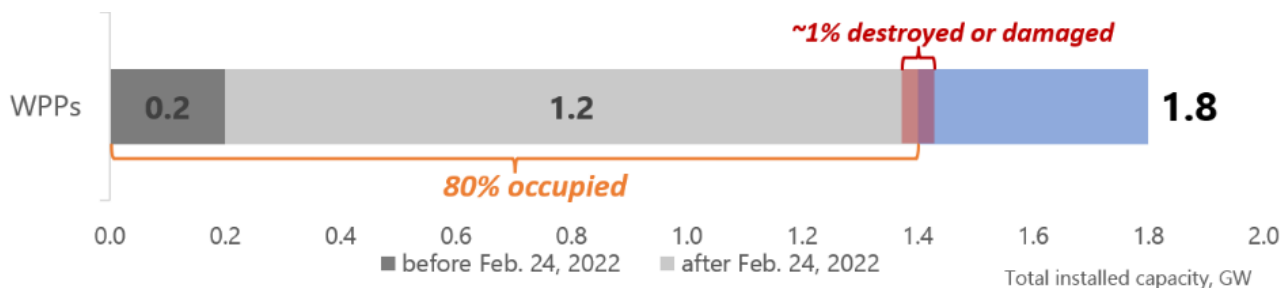


Рисунок 1.6 Розподіл встановленої потужності ВЕС внаслідок вторгнення РФ в Україну

Не зважаючи на це, протягом 2022-2023 років в Україні було введено понад 660 МВт нових потужностей відновлюваних джерел енергії. Це сонячні, вітрові електростанції, а також біогазові та малі гідроелектростанції. Крім того в Україні запропоновано проект Національного плану дій із розвитку відновлювальної енергетики на період до 2030 року – на рівні 12,6 % , або 8 ГВт від загальної встановленої потужності, а обсяг виробітку -14 ТВт*год (28 ТВт*год включаючи великі ГЕС).

Розрахунок оптимально можливого досяжного показника встановленої потужності ВДЕ до 2030 року виконувався при врахуванні технічних обмежень ОЕС України, тобто враховувався можливий стан енергомереж, обсяг регулюючих потужностей, маневрових потужностей, чий вплив на енергосистему чинить великий вплив, та нормованої вартості виробництва електроенергії з ВДЕ [4].

Потенціал можливого розвитку вітрогенерації в Україні за різними оцінками складає 10-15 ГВт, цільовий рівень потужності ВЕС складе 3-4 ГВт. Забезпечення великих обсягів державних субсидій для розвитку

вітроенергетики в Україні для того, щоб можна було досягнути аналогічного рівня субсидій як і в країнах ЄС в близькому майбутньому – є малоймовірним, ба більше неможливим, тому необхідно нові ефективні механізми, що можуть якісно стимулювати інвестування у розвиток електроенергії.

Економічно можливий потенціал сонячного генерування в Україні становить приблизно 4 ГВт, кількість енергії сонячного випромінювання, що надходить щорічно на територію України – близько 1,2 МВт*год/кв.м, лише 1% цієї енергії придатні для доцільного економічного використання, без значних капіталовкладень.

Цільовий рівень встановленої потужності СЕС в Україні до 2030 року зможе стало зростати внаслідок зниження собівартості будівництва СЕС. що пов'язаний із значним розвитком технологій, оцінка сталого розвитку сонячного генерування також розроблена, при взятті досвіду впровадження СЕС в європейських країнах із аналогічним рівнем сонячного випромінювання.

Отримання електричної енергії із СЕС відбувається внаслідок потрапляння фотонів світла на сонячні панелі, що складаються із фотоелементів, далі відбувається складна фізико-хімічну реакція, принцип дії, якої заснований на явищі фотоефекту [5]. В результаті панель генерує постійний електричний струм, який за допомогою інвертора перетворює струм в змінний. Потім згенерована енергія переходить в зовнішню мережу і продається по «зеленому» тарифу, або ж електрична енергія накопичується в акумуляторних батареях, це залежить від схеми будови станцій, і призначення СЕС.

Принцип отримання електроенергії із ВЕС наступний: потоки вітру обертають лопаті вітрогенератора: проходять через турбіну, що приводить її в дію і вона починає обертатися. На валу турбіни виникає механічна енергія, яка буде пропорційна вітровому потоку, і яка буде в подальшому за допомогою генератора перетворюватися в електричну.

Більшість електроенергії, що виробляється ВДЕ виробляється із СЕС та ВЕС (рисунок 1.7).



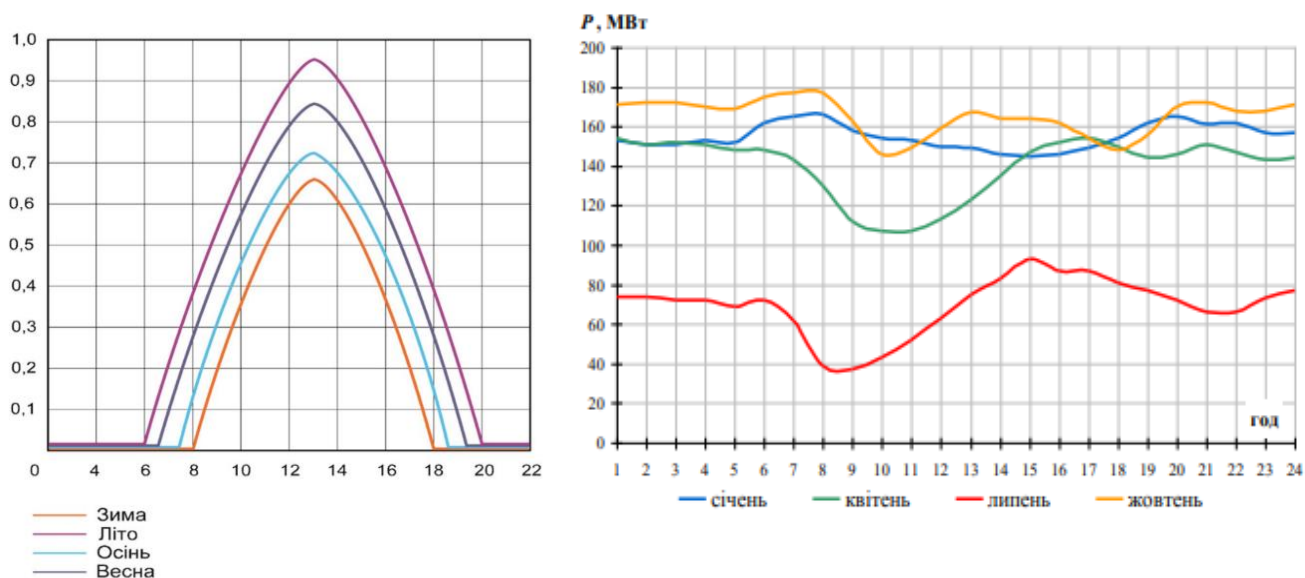
Рисунок 1.7 Розподіл встановленої потужності ВДЕ в Україні

1.3 Вплив ВДЕ на баланс електроенергії в ОЕС

В ОЕС України існує дефіцит маневрових генеруючих потужностей, що працюють в діапазоні генерування потужностей і регулюють частоту енергосистеми, на відміну від «базових» блоків АЕС, що працюють на одному рівні, і втручання у виробіток електроенергії яких економічно недоцільно, та що найважливіше технологічно складно і небезпечно. Загалом рівень маневреної генерації не перевищує 9%.

В той же час протягом останніх років було введено в ОЕС нових генеруючих потужностей вдвічі більше ніж за попередній період. Цьому сприяли державні економічні стимули для будівництва домашніх і промислових ВЕС і СЕС, в нашій державі стимули для розвитку ВДЕ – є одними із найбільш привабливих у світі, що забезпечило їхнє потужне будівництво і проектування.

Електрична енергія, що генерується джерелами електроенергії СЕС та ВЕС носить імовірнісний характер. Впродовж доби та протягом року потужність таких типів електростанцій може змінюватись від максимального до мінімального значення не один раз (рисуюнок 1.8).



Рисуюнок 1.8 Усереднений річний графік видачі потужності СЕС

Змінний та непередбачуваний характер видачі потужності, що притаманний сонячній та вітровій енергетиці може призвести до негативного впливу на режими роботи ОЕС України. Цей вплив стосується стійкості динамічних процесів в системах енергопостачання і відповідно організації диспетчерського керування енергосистемами.

Нестабільне виробництво електроенергії, спричинене несприятливими погодними умовами здатне призводити до похибок в прогнозуванні виробництва електроенергії ВДЕ, тобто виникає різниця між запланованим відпуском електроенергії та фактичним. Від так впровадження додаткових генеруючих потужностей. і їх неякісна прогнозованість спричиняє небаланси потужності, що виливають на рівень частоти в системі (рисуюнок 1.9).

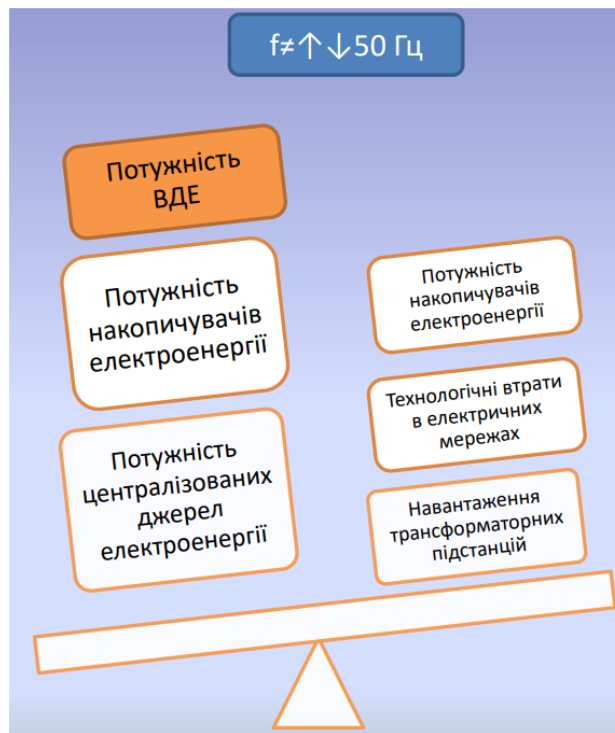


Рисунок 1.9 Небаланс в ОЕС внаслідок безконтрольного інтегрування потужностей ВДЕ

Важливою частиною інтегрування нових потужностей ВДЕ в ОЕС є їхнє обов'язкове забезпечення виконання вимог правильної генерації із можливістю підтримки постійного балансу між генеруванням і споживанням електричної енергії при забезпеченні необхідних параметрів якості електричної енергії при забезпеченні необхідного рівня резервних потужностей [6].

Неякісний процес прогнозування відпуску електричної енергії із ВДЕ призводить до появи небалансів у електричній системі. При цьому проблеми з балансом попиту та пропозиції вирішуються шляхом обмеження генерації, тобто відключенням СЕС, ВЕС від електричної системи.

Зважаючи на такі небажані впливи на ОЕС з боку ВДЕ в контексті зниження частоти, та недоотримання виробником електроенергії коштів, виникає необхідність балансування систем із ВДЕ, тобто це передбачає компенсацію нестабільності генерування ВДЕ.

В даному випадку для балансування ВДЕ необхідно застосовувати маневрові потужності – ГТУ, ГАЕС, поршневі установки, які застосовують зазвичай для покриття пікових навантажень, і використовувати накопичувачі електроенергії, паралельно розвиваючи нові методи прогнозування відпуску електроенергії для зменшення похибок і як наслідок зменшення рівнів небалансів.

Необхідно прогнозувати величину електричного навантаження, генерування, та споживання. Прогнозування дає основну вихідну інформацію для управління системами в процесі планування нормальних режимів роботи.

Формування відповідного прогнозу відпуску електроенергії з ВДЕ потребує врахування багатьох факторів. При прогнозуванні генерування електроенергії СЕС необхідно зважати на такі основні фактори:

- географічне розташування станції, кут нахилу панелей, запиленість панелей;
- значення метеопараметрів, зокрема температури, підвищення якої спричиняє нагрів елементів фотоелектричних модулів, що чинить негативний вплив на роботу сонячних батарей, знижуючи фотоефект і вироблення електроенергії, та значення сонячної інсоляції на поверхні фотоелектричного модуля, на рівень якої безпосередньо впливає рівень хмарності, що ослаблює прямий потік сонячної радіації.

Аналітично доведено, що 95 % усіх відхилень обсягів згенерованої електроенергії між прогнозованими та фактичними значеннями спричинено похибкою прогнозу метеопараметрів.

Значні відхилення в процесі прогнозування відпуску електричної енергії із ВДЕ призводить до появи небалансів у електричній системі.

1.4 Системи зберігання електроенергії

Стрімкий розвиток ВДЕ із нестабільною генерацією сприяв значній модернізацією інфраструктури енергосистем із відповідним розвитком

регулюючих та резервних засобів регулювання електропостачання, для того, щоб можна було регулювати частоту, підтримувати напругу, та частково покривати пікові навантаження. Системи зберігання енергії акумулюють електроенергію на різних рівнях енергосистеми, і оперативно регулюють режими енергосистеми, та керують коливаннями потужності в енергосистемі, пристрої для накопичення енергії «заряджаються», коли вони поглинають енергію від ВДЕ, або від енергосистеми, «розряджаються» коли відпускають в енергосистему накопичену ними електроенергію [7].

В світових енергетичних системах системи накопичення і зберігання енергії набувають все більшого значення. На сьогодні їх сукупна потужність у світі досягла приблизно 170 ГВт. Найбільші потужності зосереджені в КНР (19% від світових), Японії (17%), США (14%) і країнах Європи (Іспанія, Італія, Німеччина та інших). До 2030 року потужність накопичувачів енергії може зрости в три рази.

Системи зберігання енергії можуть стати такими ж елементами енергосистеми як і об'єкти генерації, передачі, та розподілу, та братимуть участь на ринку електричної енергії, впливатимуть на вартість електроенергії та безумовно підтримуватимуть якість електроенергії на потрібному рівні.

Системи зберігання електроенергії працюючи із генеруючими установками на основі ВДЕ працюють в режимі постійного підзаряду, вони вирівнюють добові коливання, можливі небаланси, створені ВДЕ у процесі експлуатації, і забезпечують стабільне постачання електроенергії споживачам.

При роботі з енергосистемою системи зберігання електроенергії накопичують електроенергію в нічний час і забезпечують стабільне постачання електроенергії споживачам в періоди відключення споживачів від енергосистеми.

Для того, що системи зберігання електроенергії могли нормально працювати із комплексними енергосистемами вони повинні відповідати таким вимогам:

- забезпечення стабільного постачання електроенергії споживачам незалежно від періодичності роботи установок ВДЕ та в періоди відключення споживачів від промислової енергосистеми;

- забезпечення необхідну робочу напругу та автоматичне регулювання режимами роботи;

- системи зберігання електроенергії повинні мати оптимальну енергоємність, що залежить від потреб енергосистеми, та мати в своїй конструкції набір акумуляторів з послідовним або паралельним підключенням.

Різні системи зберігання енергії - централізовані та децентралізовані - враховують різні технологічні можливості.

За оцінкою EASE (European Association for Storage of Energy) системи зберігання поділяються наступним чином: механічні, теплові, хімічні, електротехнічні, електрохімічні, (рисунок 1.10).

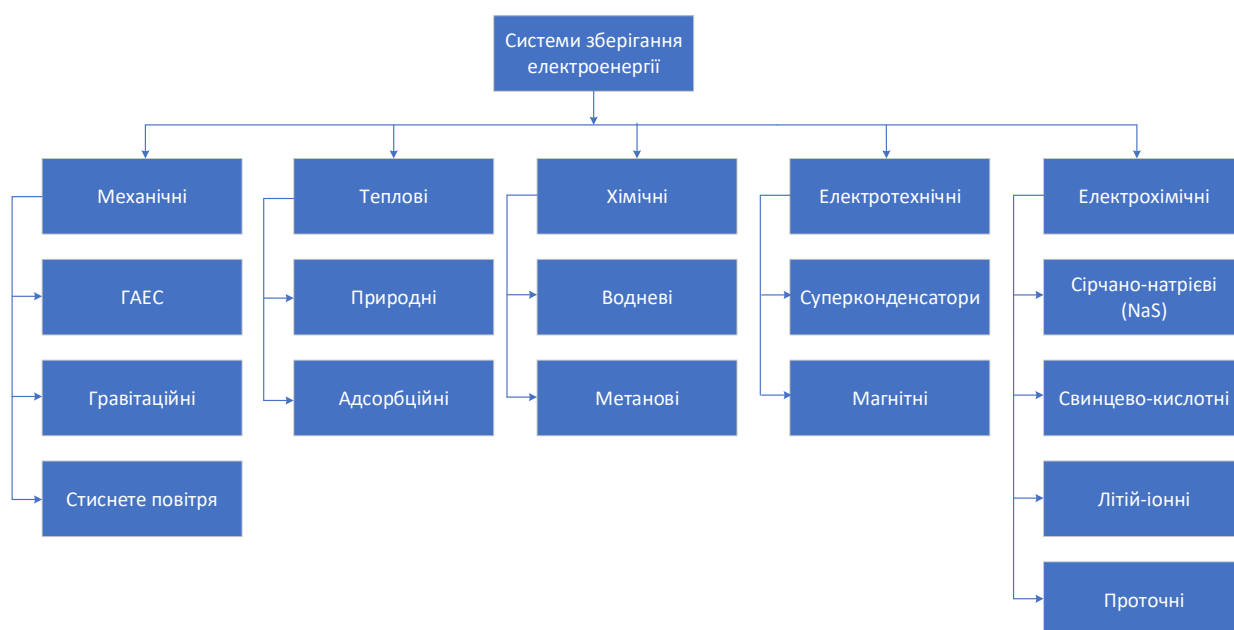


Рисунок 1.10 Класифікація систем зберігання енергії

На сьогодні найбільш поширеним способом зберігання енергії є ГАЕС, на які припадає найбільша частина світового зберігання енергії. Завдяки своїм властивостям ГАЕС як основна складова маневрових потужностей, забезпечують енергосистеми необхідною кількістю гігаватів коли це необхідно, загальна структура ГАЕС зображена на рисунку 1.11.

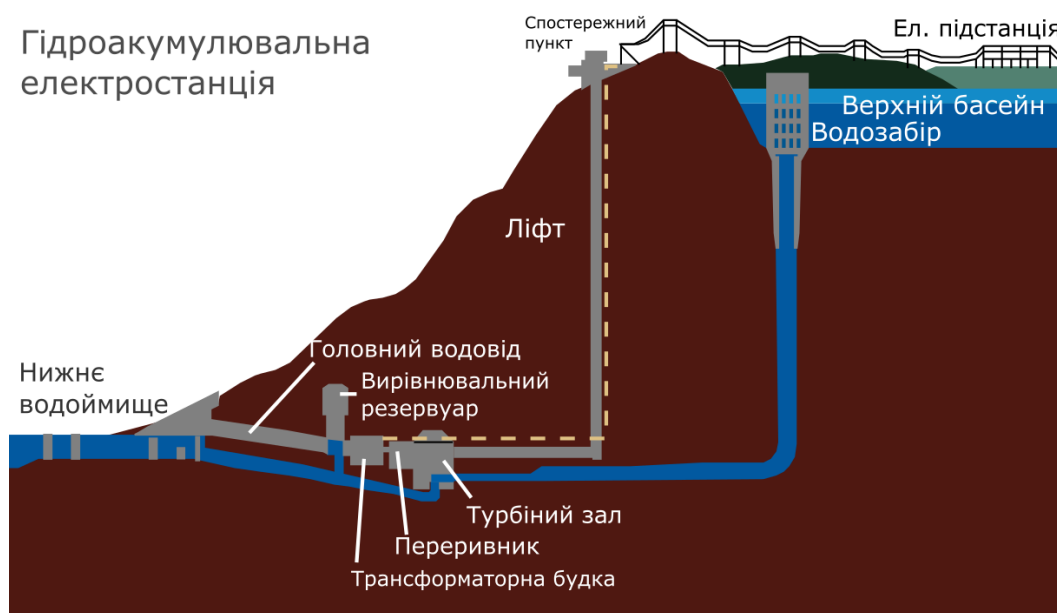


Рисунок 1.11 ГАЕС в розрізі

Проте їхнє будівництво потребує значних капіталовкладень, пов'язаних із складним процесом будівництва, потребою в правильному природному рельєфі із великим перепадом висот, необхідністю затоплення значних територій. Застосування ГАЕС є ефективним в тому випадку, коли регулюється робота не однієї електростанції на основі традиційних технологій або ВДЕ, а більшої енергосистеми.

Накопичувачі принцип дії яких ґрунтується на гравітації і терті називаються гравітаційними накопичувачами, принцип дії дуже схожий до ГАЕС, вони генерують електричну енергію, випускаючи у разі потреби важкий вантаж із певної висоти [8].

Цікавий приклад гравітаційного сховища створила американська компанія Advanced Rail Energy Storage North America (рисунок 1.12) за допомогою залізної дороги невеликої довжини близько 8 км. Замість закачування води в верхній резервуар при запасанні енергії піднімаються вагони з баластом ближче до вершини пагорба, коли вагони спускають з пагорба – енергія вивільняється.

Різниця у висоті між точками становить 900 м, що більше ніж у більшості ГАЕС. На піку система видає до 50 МВт потужності, тобто 1,5 МВт з кожного з 32 вагонів.



Рисунок 1.12 Гравітаційний накопичувач електроенергії вагонеткового виконання

За таким же гравітаційним принципом працює інший не менш цікавий проект – зберігання енергії в башті (рисунок 1.13). При надлишку електроенергії від СЕС чи ВЕС, запускається електродвигун, і кран, керований автоматичним алгоритмом, піднімає бетонні блоки один за одним, складаючи їх у вежу навколо своєї осі. Система зберігання «повністю заряджена», коли кран створив навколо себе вежу з бетонних блоків. У вежі може зберігатися 20 МВт•год енергії. Коли в мережі

недостача електрики, система запускається в зворотному напрямку, і електроенергія подається в мережу за рахунок гравітаційної енергії.



Рисунок 1.13 Гравітаційний накопичувач електроенергії баштового виконання

В якості накопичувача енергії може бути стиснене повітря, що утримується у ємності великого об'єму [9]. (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 Резервуар для зберігання стисненого повітря

Зазвичай для них використовуються печери в скельному ґрунті, соляні печери, пористі породи, водоносні шари або нафто-газоносні шари, також є застосування офшорних ВЕС для закачування повітря в резервуари. Використання офшорних ВЕС є зручним, оскільки біля них є сприятлива глибина для розташування резервуарів зі стисненим повітрям. Дана концепція була протестована з використанням спеціальних резервуарів.

Акумуляування теплової енергії із подальшим її перетворенням у електричну енергію є ще одним способом зберігання електроенергії.

Застосування різних засобів для накопичення теплової енергії при використанні сонячних енергетичних установок дозволяє подолати проблему, пов'язану з нерівномірною інтенсивністю сонячної енергії протягом доби. Як приклад застосування теплових накопичувачів можна розглянути проект «Future Energy System – FES» компанії Siemens Gamesa (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 Система зберігання електричної та теплової енергії

За проектом тепловий накопичувач виконує кам'яна порода захищена від втрат енергії кам'яним насипом і термоізоляцією. Електроенергія перетворена в теплову, надходить від ВЕС і запасється гірською породою

кількістю приблизно 30 мегават-годин електроенергії, а далі за допомогою парової турбіни перетворюється в електричну і віддається в енергосистему.

Ще однією системою зберігання енергії принцип дії, якої заснований на тепловому перетворенні енергії є адсорбційні системи зберігання.

Принцип дії таких накопичувачів ґрунтується на явищі абсорбції – захопленні і поглинанні одного матеріалу з допомогою іншого, та адсорбції – явищі накопичення та поглинання рідини або газу поверхневим шаром рідини чи твердого сорбенту. Ці процеси супроводжуються екзотермічними та ендотермічними реакціями, тобто відповідно виділенням чи поглинанням тепла.

Системи адсорбційного зберігання використовують комбінацію двох різних матеріалів. Один - адсорбент як твердий матеріал (наприклад, цеоліт), а інший – адсорбат як газоподібний матеріал (наприклад, водяна пара).

Адсорбційне накопичення тепла майже не втрачає тепла протягом тривалого періоду часу. Після зарядки накопичувальний бак може охолонути до температури навколишнього середовища, але накопичена енергія залишається постійною, доки два матеріали (адсорбент, адсорбат) зберігаються окремо.

Основними компонентами адсорбційного накопичувача є адсорбер, накопичувач з внутрішнім теплообмінником, зовнішнім теплообмінником, випарник і конденсатор.

Адсорбційні системи зберігання енергії для опалення, охолодження та кондиціонування повітря призначені для мобільного та стаціонарного застосування в діапазоні енергії до декількох МВт-год і таким чином здатні брати участь в управлінні попитом споживачів на енергію.

Принцип дії хімічних накопичувачів електроенергії заснований на використанні електричної енергії для виробництва хімічних сполук, зберігання цих сполук та в подальшому їхнє використання для виробництва електричної енергії коли це необхідно. Зараз існує кілька хімічних сполук,

що використовуються для накопичення енергії. Вони включають: водень, метан, вуглеводні, метанол, бутанол та етанол. Водень H_2 в якості накопичення енергії використовується найбільше через його велику енергоємність. Його отримують в результаті процесу електролізу або шляхом мікробної ферментації органічних відходів. Водень - універсальний, транспортабельний, та чистий енергоносіє.

Накопичення енергії за допомогою хімічного накопичувача відбувається таким чином: надлишкова електроенергія отримана із енергосистеми в позапікові періоди навантаження запасуються в установках, призначених для виробництва водню шляхом електролізу води, далі водень зберігається в спеціальних накопичувачах під високим тиском (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16 Процес накопичення водневої енергії

Далі за допомогою паливних елементів чи спеціальних турбін накопичена за допомогою водню енергія перетворюється в електричну і віддається в енергосистему в період пікових навантажень, чи у вигляді теплової енергії для систем опалення.

Паливні елементи виробляють постійний струм шляхом безшумного перетворення хімічної енергії палива безпосередньо в електричну внаслідок

електрохімічної реакції, що відбувається, використовуючи електроліт, в який поміщений анод і катод, і який проводить протони. Коли водень надходить на анод, а кисень – на катод, починається хімічна реакція, внаслідок якої починає генеруватися електричний струм, вода, та тепло.

Ще один спосіб застосування хімічних систем зберігання енергії – це накопичувачі, принцип дії яких заснований на синтезі природного газу (метану CH_4) із вуглекислого газу і водню.

Водень виробляється електролізом води, а вуглекислий газ утворюється після спалювання. Обидва газу перетворюються на метан за допомогою каталітичного реактора. Концепція використання потужності, отриманої із синтезуванням метану вже реалізована. Прикладом є станції на стисненому природному газі CNG - станції (Compressed natural gas) (рисунок 1.17).

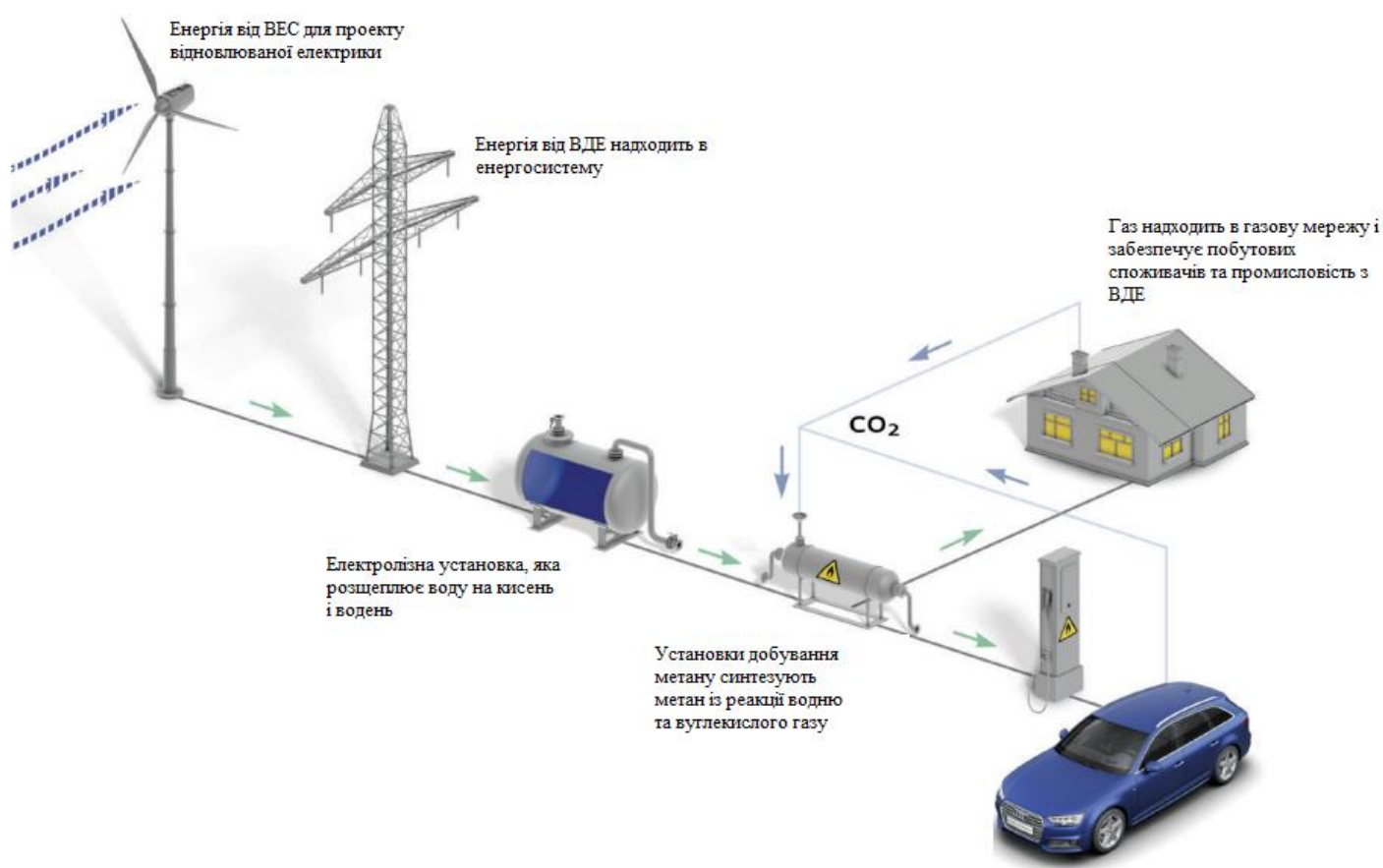


Рисунок 1.17 Застосування CNG - станції

До електротехнічних накопичувачів можна віднести суперконденсатори (рисунок 1.18), вони здатні зберігати набагато більше електричної енергії, ніж звичайні конденсатори. Це імпульсний електрохімічний пристрій, що використовується в електричних схемах для компенсації швидких перехідних процесів. Його особливість полягає у високій щільності енергії та високій ємності, що зумовлює застосування пристроїв у вигляді джерела короткочасного електроживлення.

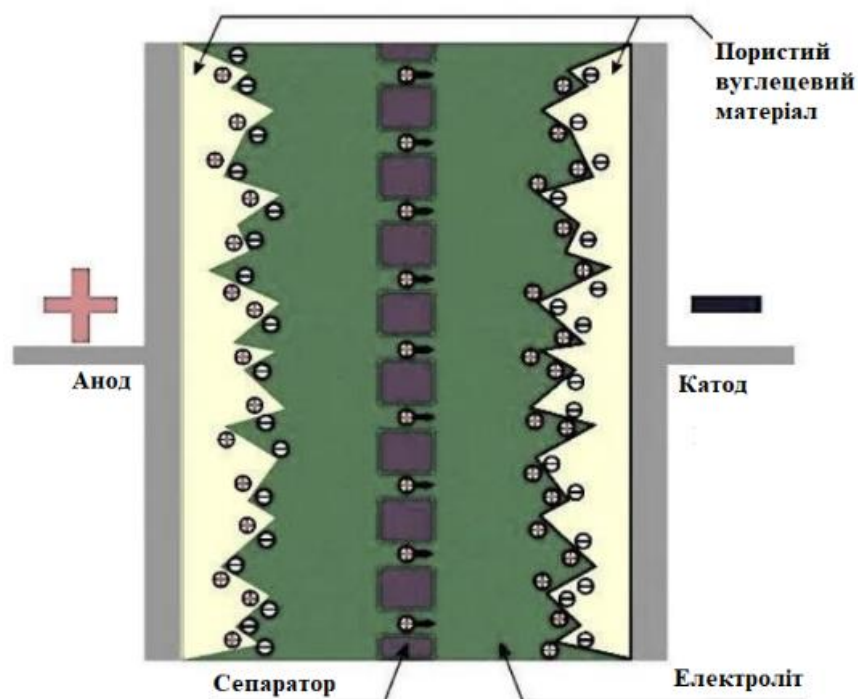


Рисунок 1.18 Принцип дії суперконденсатора

Зарядження суперконденсаторів здійснюється за рахунок поділу заряду на двох електродах з великою різницею потенціалів між ними, ресурс системи досить великий.

З огляду на ці особливості суперконденсатори доцільно використовувати в гібридних системах із акумуляторами, і як накопичувальні пристрої для джерел ВДЕ.

Надпровідникові магнітні накопичувачі – тип електротехнічних накопичувачів електричної енергії, що запасують електричну енергію в магнітному полі, що створюється внаслідок протікання постійного струму по котушці з надпровідного матеріалу. Важливою перевагою таких накопичувачів є коротка затримка під час заряду та розряду, від так накопичена потужність віддається в енергосистему майже миттєво, до того ж через відсутність опору втрати потужності в даному випадку менші ніж в інших методах накопичення. Ці засоби також використовувалися для забезпечення стабільності мережі в системах розподілу.

Найбільшого розповсюдження серед інших систем зберігання енергії набули електрохімічні накопичувачі електроенергії акумулятори (рисунок 1.19), принцип дії яких заснований на здійсненні хімічних реакцій в розчині електроліту поміщеного в резервуар, в який занурені електроди – анод і катод.

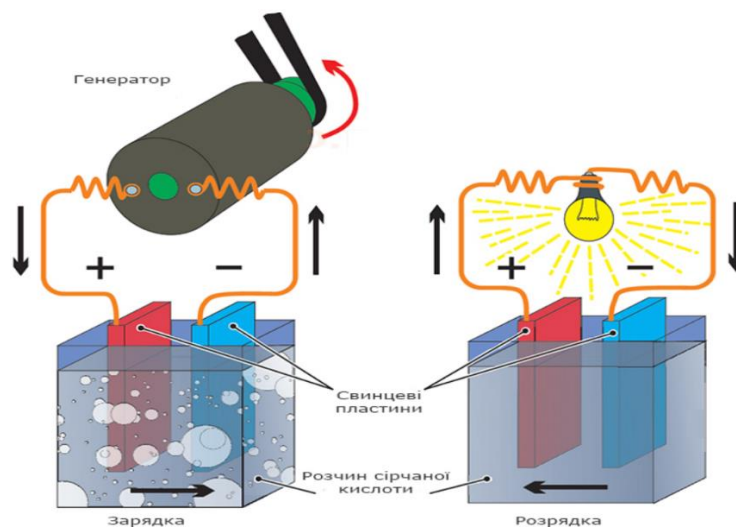


Рисунок 1.19 Принцип роботи акумулятора

Основними перевагами електрохімічних накопичувачів електроенергії є їх конструкція, компактність, функціональна гнучкість, контролю та головною перевагою є високий рівень накопичуваної питомої енергії. Однак

аккумуляторні накопичувачі електроенергії достатньо дорогі, зменшують свій ресурс при роботі в режимах розряду та заряду. Ці недоліки можливо компенсувати за рахунок оптимального розподілу потужності між аккумуляторною батареєю та суперконденсаторами.

Розглянемо декілька різних типів аккумуляторів:

Сірчано-натрієвий аккумулятор (NaS) - це хімічне джерело струму, в ньому анодом є натрій, електроліт – складний окис натрію та алюмінію, катод - сірка в суміші з графітом, структура аккумулятора та його принцип дії зображено на рисунку 1.20. Вирізняється дуже високою питомою енергією, високим ККД при заряджанні-розряджанні.

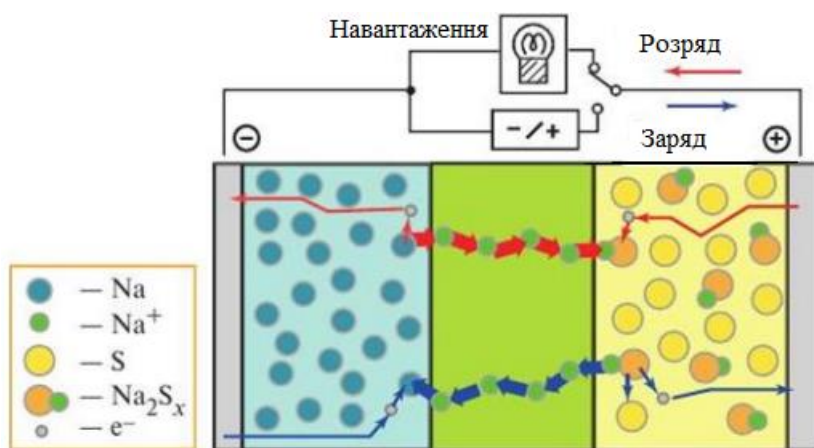


Рисунок 1.20 Принцип дії аккумулятора NaS

Такі батареї в основному придатні для масштабних стаціонарних застосувань, таких як сховище енергії для електричних мереж.

У 2010 у Президіо, Техас, було найбільшу у світі натрієво-сірчану батарею, яка забезпечує 4 МВт потужності протягом восьми годин, коли міська лінія електропередач не працює. Натрієво-сірчані аккумулятори можуть використовуватись для підтримки генерації електроенергії з ВДЕ, особливо з ВЕС і СЕС. У випадку ВЕС аккумулятори можуть використовуватись у періоди сильного вітру і низького споживання енергії.

Накопичена енергія може бути отримана при розряджанні акумуляторів і віддається в енергосистему під час пікових навантажень.

Свинцево-кислотний акумулятор набув широкого поширення, він має широке поширення, ресурс (від 500 циклів і більше), високу питому потужність.

Його спосіб роботи заснований на електрохімічних реакціях свинцю і діоксиду свинцю і кислому сірчаному середовищі. Спрощено акумулятор являє собою два електроди у вигляді пластин, що поміщені в розчин сірчаної кислоти, позитивний електрод зроблений із діоксиду свинцю PbO_2 , негативний – із свинцю (рисунок 1.21).

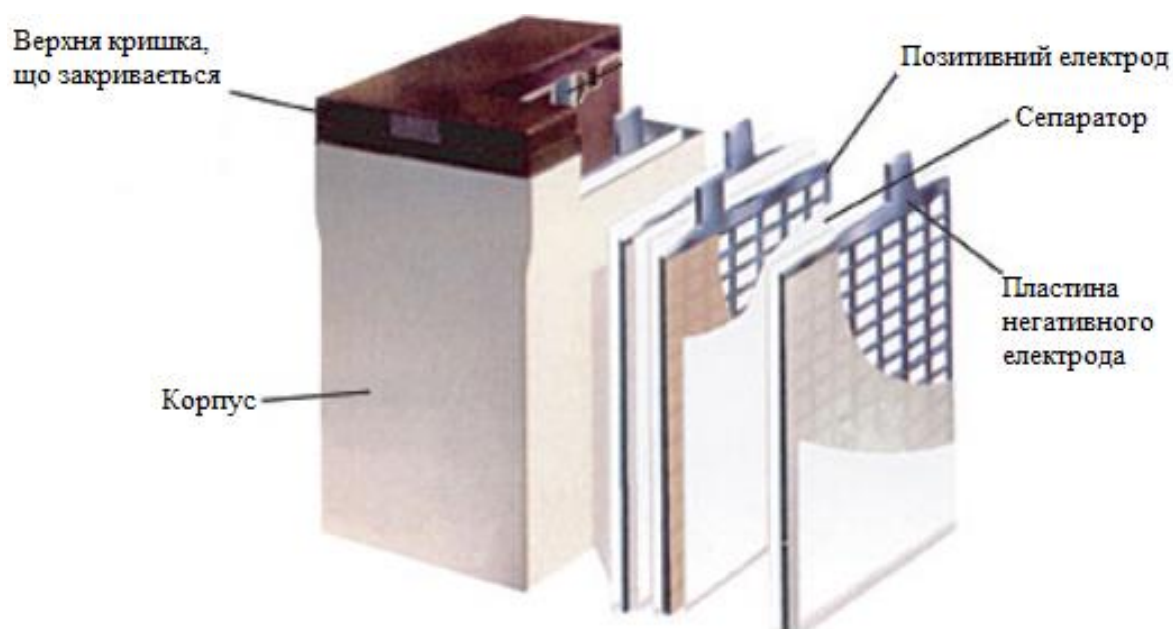


Рисунок 1.21 Принцип дії свинцево-кислотного акумулятора

Під час проходження струму між ними відбуваються окисно-відновні реакції, а під час розряджання відбувається хімічна реакція, в результаті якої активна маса обох електродів змінює свій хімічний склад, перетворюється з губчастого свинцю і його двоокису в сірчаноокислий свинець, спричиняючи зменшення щільності електроліту. Як наслідок всередині батареї утворюється спрямований рух іонів і в колі потече електричний струм. Під

час заряджання акумулятора відбувається зворотний процес – напрям струму змінюється на протилежний, активні маси відновлюють свій первинний хімічний склад, а щільність електроліту зростає. Процес цей, названий циклом, може бути багатократним.

Такі батареї застосовуються як резервні джерела в системах сигналізації, охорони та медичному устаткуванні, найширше застосування вони мають у джерелах безперебійного живлення (ДБЖ).

Літій-іонний акумулятор (Li-ion) – акумулятор поширений в сучасній побутовій електронній техніці, застосовується як джерело енергії в електромобілях та накопичувачах енергії в енергетичних системах.

Літій-іонний акумулятор складається з електродів, розділених пористим сепаратором, просоченим електролітом. Катодний матеріал на алюмінієвій фользі, анодний матеріал на мідній фользі. Електроди поміщені у герметичний корпус, що іноді оснащують запобіжним клапаном, що скидає внутрішній тиск при аварійних ситуаціях або порушенні умов експлуатації (рисунок 1.22).

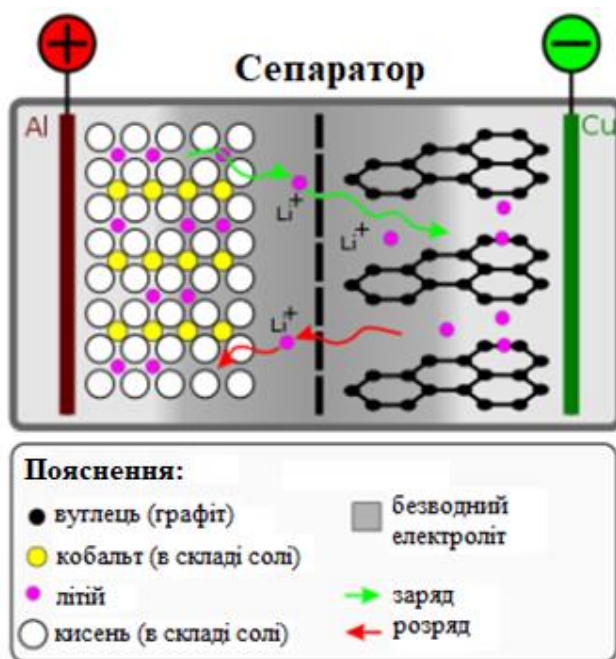


Рисунок 1.22 Літій-іонний акумулятор

Носієм заряду в літій-іонному акумуляторі є позитивно заряджений іон літію, що може впроваджуватися в кристалічну ґратку інших матеріалів (графіт, оксиди і солі металів) з утворенням хімічного зв'язку.

Переваги: висока питома щільність потужності і енергії, великий ресурс по циклах, ефективний цикл заряду - розряду, для виробництва можливі різні хімічні сполуки. Недоліки: деякі види електроліту токсичні – від так необхідні додаткові витрати на утилізацію, потрібні передові виробничі технології для досягнення високих експлуатаційних характеристик.

Літій-іонні акумулятори через їх високу питому ємність використовуються в стаціонарних установках малої потужності. Багатокритеріальний аналіз оцінки та порівняння фотоелектричних систем зберігання енергії вказує на те, що літій-іонні (Li-ion) акумулятори - найкраще рішення для зберігання сонячної енергії, вони здатні стримувати швидкі зміни напруги, і пом'якшувати зміни напруги в мережі, викликані підключенням СЕС. Літій-іонні акумулятори застосовуються в комплекті із системою контролю та керування – СКУ або BMS (battery management system), – та спеціальним пристроєм заряду/розряду.

Сьогодні широкої популярності набули проточні батареї. На прикладі проточної батареї можна ванадієву редокс-батарею (redox з англійської окиснення).

Ці батареї складаються з двох резервуарів з електролітом, розділеним обмінною мембраною. Електроліти засновані на ванадії. Коли батареї заряджаються і розряджаються, іони ванадію просто переміщаються між станами окислення, спрощений принцип дії зображено на рисунку 1.23.

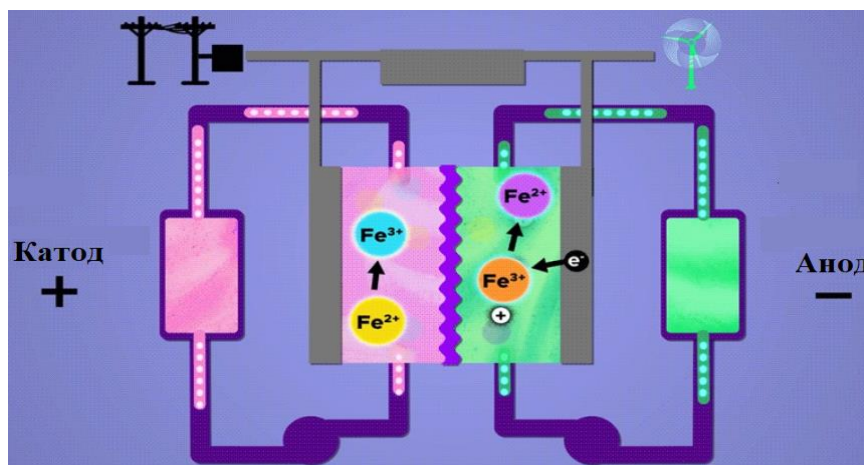


Рисунок 1.23 Схема проточної батареї

Ванадій V – елемент, що може бути в чотирьох різних станах окиснення, тобто існувати у вигляді іона з різними зарядами, що буде провокувати перенесення зарядів, і відповідно заряджання-розряджання батареї, це помітно відрізняє такий тип батарей від літій-іонних, тим, що вони що не чинить впливу електроди, і не спричиняє деградації батареї, не впливає на її продуктивність, і не потребує заміни.

Вони демонструють значний потенціал для інтеграції з ВДЕ. Завдяки своїм властивостям, швидкому заряду, довговічності, вони можуть ефективно зберігати енергію з СЕС або ВЕС, та забезпечувати постійний доступ споживачів до електроенергії в періоди попиту.

Вибираючи накопичувачі енергії для конкретної енергетичної системи, слід враховувати в цілому при встановленні подібних установок слід розуміти які основні переваги та недоліки використання тих чи інших накопичувачів в тій чи іншій ситуації.

Необхідно враховувати енергетичні та експлуатаційні показники енергоустановок на основі ВДЕ, і власне самих накопичувачів енергії. До основних характеристик належать: питома потужність, питома енергія, питома вартість накопичувача енергії, термін заряду-розряду, термін служби, ККД, саморозряд, безпека, простота обслуговування.

Нижче в таблиці 1.1 наведено основні переваги та недоліки окремих систем зберігання енергії, їхні деякі основні властивості.

Таблиця 1.1 Основні властивості, переваги та недоліки найуживаніших систем зберігання енергії

Тип СЗЕ		Переваги	Недоліки	Потужність, ККД
Механічні	ГАЕС	Велика потужність, низька питома вартість відносно потужності, мала собівартість електроенергії	Складність розміщення, дороге і тривале будівництво, необхідність відповідного ландшафту і пов'язані з цим екологічні проблеми	100-5000 МВт 66-75 %
	Гравітаційні	Швидкість будівництва і порівняльна дешевизна, можливість використання в засушливих районах, де проблематичне водопостачання	При збільшенні вантажу для його підйому необхідно робити складні мультиплікатор/редуктор, на якому буде втрачатися частина потужності	40-150 МВт 75-80 %
	Стиснене повітря	Велика потужність, низька питома вартість відносно потужності, мала собівартість електроенергії	Залежність від рельєфу навколишнього середовища, негативний екологічний вплив	5-300 МВт 50-89 %

Продовження таблиці 1.1

Теплові	Природні	Можливість акумулювання тепла, і використання його для покриття попиту на гарячу воду протягом доби	Складність будівництва	30-50 МВт 70-80 %
	Адсорбційні	Перспективна технологія для щоденного та сезонного зберігання	Дорога вартість технології, потребує значних розробок досліджень для появи більших знань на рівні системи	0-5 МВт 65-75 %
Хімічні	Водневі	Тривалість зберігання енергії, незалежність енергоємності від температури	Воднева енергетика потребує величезних інвестицій в інфраструктуру, вищі експлуатаційні витрати на трубопроводи для водню та на вищі об'єми витоків	0-50 МВт 20-35 %
	Метанові	Універсальність енергетичних способів застосування метану як для виробництва електричної та теплової енергії,	Висока вартість енергоустановок	1-1000 МВт 45-50 %

Продовження таблиці 1.1

Електротехнічні	Супер конденсатори	Висока швидкість заряду і розряду, дуже	Мала питома енергія на відміну від	0-0,3 МВт 90-95 %
	Магнітні	Швидко реагують на заряджання і розряджання, мають великий термін служби	Висока вартість обслуговування та ремонту даних систем зберігання енергії	0,1-10 МВт 95-98 %
Електрохімічні	Сірчано-натрієві (NaS)	Майже відсутній саморозряд	Необхідність роботи за високої температури, від так є небезпека займання натрію в аварійних ситуаціях,	1 МВт 75%
	Свинцево-кислотні	Низькі капіталовкладення	Низькотемпературна продуктивність, необхідність термічного управління, низька енергетична щільність	1 МВт 85 %
	Літій-іонні	Висока енергоефективність, велика енергетична щільність та потужність	Нетривалий час зберігання енергії, необхідність роботи за високої температури	0,1-0,2 МВт 85-90 %
	Проточні	Водний електроліт, відносно безпечний,	Залежність від навколишньої температури, висока вартість технології, невисокі значення питомої енергії	0,2-0,3 МВт 60 %

Накопичувачі в мережі можуть працювати в таких режимах роботи з їх комбінаціями:

- черговий режим в якому накопичувач не споживає з мережі і не віддає електроенергію в мережу, за винятком споживання для власних потреб;

- режим накопичення енергії, коли відсутня необхідність віддачі енергії мережевий накопичувач переходить в режим накопичення енергії. Якщо параметри мережі електроживлення знаходяться в межах робочого діапазону накопичувач заряджається, при цьому потужність, яка споживається від мережі, обмежується значенням, визначеним оператором;

- режим передачі енергії в мережу в якому мережевий накопичувач переходить в режим перетворення постійної напруги акумуляторів в змінну, синхронізовану за частотою, фазою і миттєвим значенням з напругою мережі.

- суміщені режими роботи (застосовуються залежно від призначення мережевих накопичувачів і поточних параметрів енергомереж). З позицій застосування мережевих накопичувачів основними характеристиками споживачів електроенергії є зміни щільності добових і річних графіків їх електричних навантажень.

У сценаріях застосування, таких як обмеження генерації відновлюваної енергії та запланованих обсягів генерації, зберігання енергії розгортається на стороні виробництва відновлюваної енергії. У сценаріях використання, таких як регулювання частоти електромережі та оптимізація потоків енергії енергосистеми, накопичення енергії розгортається на стороні передачі. У сценаріях розподіленого та мобільного накопичення енергії зберігання енергії розгортається на стороні розподілу енергії. Таким чином, технологія накопичення енергії є ключем до того, щоб відновлювана енергія стала основним джерелом.

2 ЗАСТОСУВАННЯ ЛІТІЙ-ІОННИХ НАКОПИЧУВАЧІВ HUAWEI TECHNOLOGIES В ПРОЕКТІ

2.1 Опис ідеї застосування накопичувачів в проекті

Ідея полягає в тому, щоб впровадити систему накопичення енергії для покриття небалансів від джерела ВДЕ СЕС, використовуючи накопичувачі електроенергії на основі літій-іонних батарей.

Встановлена потужність СЕС – 10 МВт, для накопичення енергії пропонується застосування комплексу споруд УЗЕ з встановленою потужністю 4 МВт. Використання систем зберігання енергії на основі літій-іонних батарей дають змогу підтримувати частоту в мережі, утримувати баланс у вузлі підключення ВДЕ. Користувач подібної технології має змогу в подальшому інтегруватися в мережу, приймати управлінські рішення, автоматичне управління та моніторинг стану розподільної мережі, і звичайно що знижувати втрати на електроенергію та покращувати її якість.

2.2 Загальна інформація про літєві накопичувачі електроенергії Huawei Technologies

Літій-іонні батареї і проточні батареї на даний момент є одними із найбільш комерційно життєздатних технологій для стаціонарних систем зберігання енергії, прогноз зміни їхньої вартості зображено на рисунку 2.1

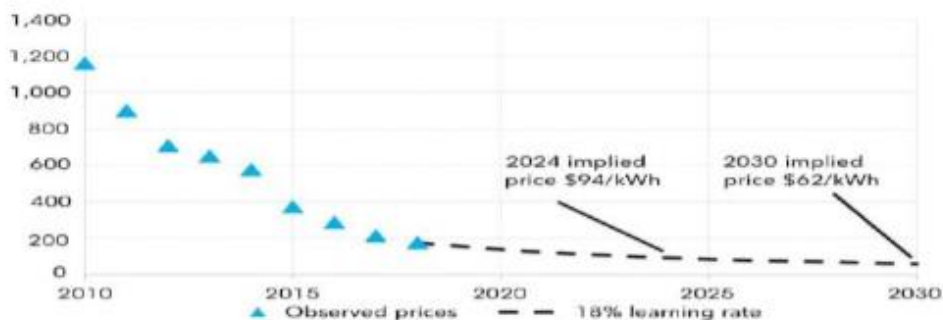


Рисунок 2.1 Прогноз зміни ціни модулів літій-іонних батарей

Особливо літій-іонні, ціна яких значно менша, і яка має тенденцію зменшуватися через постійні інновації, та покращення рівня технологій виробництва.

Більшість акумуляторних систем для енергетичних підприємств, встановлених в світі - літій-іонні, в основному завдяки зниженню витрат, питомої потужності, вони мають один із найвищих ККД серед інших накопичувачів. Літій-іонні акумулятори можуть бути використані для зберігання значних обсягів енергії і забезпечувати значну потужність.

Системи зберігання енергії виробництва компанії Huawei Technologies складаються з: розумні стрингові УЗЕ, розподільчого щита постійного струму, системи інтелектуального перетворення енергії, розумного контролера, та підвищуючого трансформатора (рисунок 2.1).



Рисунок 2.2 Будова УЗЕ

Накопичувачі компанії Huawei Technologies належать до літій-іонних батарей, в них інтегровано літій залізофосфатні акумуляторні батареї, що зібрані у блоки, блоки розміщені в стійках. Розумні стрингові системи УЗЕ (рисунок 2.3), є найважливішою частиною комплексу споруд зберігання

До складу УЗЕ входять:

- система керування акумулятором;

- система опалення, вентиляції та кондиціонування повітря;
- система освітлення;
- систему виявлення пожежі та автоматичну систему пожежогасіння;
- систему безпеки та систему аварійних ситуацій, пристрої захисту від перенапруги (SPD), пристрої захисту заземлення та пристрої виявлення несправностей заземлення.



Рисунок 2.3 Зовнішній вигляд LUNA2000-2.0MWH-1H1

Нище в таблиці 2.1 наведено основні технічні характеристики УЗЕ Huawei Technologies, що повинна короткочасно споживати від СЕС небаланси.

Таблиця 2.1 технічні характеристики УЗЕ LUNA2000-2.0MWH-1H1

Номінальна напруга на стороні шини DCDC	1250 В
Кількість блоків акумуляторів на стійку	21 акумуляторна батарея підключена послідовно

Продовження таблиці 2.1

Номінальна потужність (кВт)	3 x 338 кВт (280 А·год елементів)
Кількість стійок в контейнері	6
Живлення власних потреб	380/220 В АС
Вага	30 тон
Номінальний струм заряду/розряду (А)	3 x 275,2 А

Система керування акумулятором є основним компонентом розумної стрингової системи, вона складається із:

- блоку моніторингу акумулятора, який контролює і збирає інформацію про роботу акумулятора, керує пасивним балансуванням електрохімічних елементів;
- блоку керування акумулятором, який збирає інформацію про всі акумуляторні блоки, а також напругу і струм всієї стійки через блок моніторингу акумулятора, а також генерує аварійні сповіщення та захищає акумуляторну стійку під час заряду і розряду;

- центрального блоку моніторингу, який керує блоком моніторингу акумулятора і блоком керування акумулятором аналізує і розраховує вивантажені дані, обробляє аварійні сповіщення, записує і зберігає дані, балансує навантаження між стійками.

Розумна стрингова УЗЕ сконструйована підтримувати постійну температуру і вологість всередині. Вбудована система охолодження та опалення промисловим кондиціонером використовує розподілену конструкцію контролю температури. Для підтримки постійної температури в контейнері використовуються дверні кондиціонери.

За допомогою професійного теплового числового моделювання Huawei повністю аналізує та оптимізує конструкцію для покращення теплообміну на основі результатів тестів в різних сценаріях високої та низької температури.

УЗЕ Huawei Technologies інтегрує централізовану систему пожежогасіння, яка складається з балону для вогнегасної речовини, труб,

сопла, компонентів сигналу зворотного зв'язку, детекторів вогню і панелі керування гасінням, кнопки аварійного запуску/зупинки, звукової сирени й індикатору виділення газу.

Система перетворення потужності, перетворення змінного струму в постійний AC-DC перетворювач – один із основних компонентів УЗЕ. Система перетворювачів має модульну конструкцію і встановлюється просто неба, його не встановлюють у контейнер, це спрощує їх обслуговування.

Система перетворювачів встановлюється у верхній частині панелі розподільчого щита постійного струму шафи збору потужності (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 Шафа збору потужності

Пристроєм зв'язку у масиві накопичення електроенергії є інтелектуальний контролер масив, що збирає дані з пристроїв і повідомляє про дані серверу моніторингу через волоконну кільцеву мережу.

2.3 Розрахунок обладнання КТП

Для збору та передачі потужності УЗЕ на території об'єкту передбачено встановлення КТП-10/0,8-6300 кВА.

КТП розділена всередині на три основні відсіки: відсік силового трансформатора, відсік РУ-10 кВ, відсік РУ-0,8 кВ.

КТП призначена для отримання та розподілу електроенергії, яку вона отримає від зовнішньої мережі, від СЕС, та для того, щоб у момент, коли СЕС створює позитивний небаланс УЗЕ на території об'єкту накопичували енергію і заряджалися, а потім розряджалися коли виникає негативний небаланс віддавали електроенергію в зовнішню мережу, при цьому беручи участь в регулюванні потужності, а від так частоти.

Найважливішою частиною КТП є трансформатор, в нашому випадку передбачено встановлення одностансформаторної підстанції. Визначальним у даному випадку є нормальний режим систематичних навантажень. Вибір технічно доцільної потужності $S_{T.ном}$ двохобмоткового трансформатору здійснюється за формулою :

$$S_{УЗЕ} \leq S_{T.ном}, \quad (2.1)$$

де $S_{УЗЕ}$ - приєднана потужність комплексу споруд УЗЕ, $S_{УЗЕ} = 4000$ кВА .

Технічно доцільна потужність окрім розрахункового навантаження обирається за рекомендованим коефіцієнтам економічного завантаження трансформаторів, який для одностансформаторних підстанцій відповідно складає $k_{ез} = 0,75$.

$$\frac{S_{УЗЕ}}{k_{ез}} \leq S_{T.ном}, \quad (2.2)$$

$$5333 \text{ кВА} \leq 6300 \text{ кВА} .$$

Тому обираємо трансформатор ТСЗ 6300 10/0,8 кВ.

Для правильного функціонування КТП необхідно правильно обрати комутаційне обладнання, це вимикачі, роз'єднувачі, вимірювальні трансформатори, пристрої захисту від комутаційних та грозових перенапруг.

Проведемо вибір обладнання РУ-10 кВ.

Вибір вимикача, вибираємо вакуумний вимикач VD4 12.12.25.

- за напругою обладнання:

$$\begin{aligned} U_{\text{ном.в}} &\leq U_{\text{ном.м}}, \\ 10 \text{ кВ} &\leq 10 \text{ кВ}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

- за номінальним робочим струмом:

$$I_{\text{ном.роб}} \leq I_{\text{ном.в}}, \quad (2.4)$$

де $I_{\text{ном.роб}}$ - номінальний робочий струм, що проходить через комірку КТП 10 кВ, і визначається наступним чином:

$$I_{\text{ном.роб}} = \frac{S_{\text{узе}}}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (2.5)$$

де $S_{\text{узе}}$ - приєднана потужність комплексу споруд УЗЕ, $S_{\text{узе}} = 4000 \text{ кВА}$,

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності УЗЕ, $\cos\varphi = 0,9$,

$U_{\text{ном}}$ - номінальна напруга ВН, $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$.

$$I_{\text{ном.роб}} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 10} = 256,60 \text{ А}.$$

$$256,60 \text{ A} \leq 630 \text{ A} .$$

Вибір роз'єднувача, вибираємо роз'єднувач РВЗ-10/630-І-УЗ.

- за напругою обладнання:

$$U_{\text{ном.р}} \leq U_{\text{ном.м}} , \quad (2.6)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ} .$$

- за номінальним робочим струмом:

$$I_{\text{ном.роб}} \leq I_{\text{ном.р}} , \quad (2.7)$$

$$256,60 \text{ A} \leq 630 \text{ A} .$$

Вибір вимірювальних трансформаторів.

Вибираємо трансформатори струму ТОЛУ-10-2 кВ 300/5.

- за напругою обладнання:

$$U_{\text{ном.тс}} \leq U_{\text{ном.м}} , \quad (2.8)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ} .$$

- за номінальним робочим струмом:

$$I_{\text{ном.роб}} \leq I_{\text{ном.тс}} , \quad (2.9)$$

$$256,60 \text{ A} \leq 630 \text{ A} .$$

Вибираємо трансформатор напруги 3хIVS1F.

- за напругою обладнання:

$$U_{\text{НОМ.ТН}} \leq U_{\text{НОМ.М}}, \quad (2.10)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Вибір ОПН, вибираємо ОПН ОПН-10/12/10/550-УХЛ1.

- за найбільшою робочою напругою:

$$\frac{U_{\text{нрм}}}{K(t)} \leq U_{\text{нро}}, \quad (2.11)$$

де $U_{\text{нро}}$ - найбільша тривало допустима робоча напруга, $U_{\text{нро}} = 12 \text{ кВ}$,

$U_{\text{нрм}}$ - найбільша лінійна тривало допустима робоча напруга електричної мереж, $U_{\text{нрм}} = 12 \text{ кВ}$,

$K(t)$ - коефіцієнт, що дорівнює відношенню допустимого виробником підвищення напруги протягом часу t до $U_{\text{нро}}$ згідно $K(t) = 1,4$.

$$8.2 \text{ кВ} \leq 12 \text{ кВ}.$$

- за довжиною шляху витoku:

$$L_{\text{вит.роз}} \leq L_{\text{вит.ОПН}}, \quad (2.12)$$

де $L_{\text{вит.ОПН}}$ - довжина шляху витoku ОПН, $L_{\text{вит.ОПН}} = 28 \text{ см}$,

$L_{\text{вит.роз}}$ - розрахункова довжина шляху витoku ОПН, що визначається наступним чином:

$$L_{\text{вит.роз}} = \lambda_{\text{п.вит}} \cdot U_{\text{нрм}} \cdot K_i, \quad (2.13)$$

де $\lambda_{\text{п.вит}}$ - питома довжина шляху витоків зовнішньої ізоляції для ступеня забрудненості атмосфери, $\lambda_{\text{п.вит}} = 1,9 \text{ см/кВ}$,

K_i - коефіцієнт використання довжини шляху витоків, $K_i = 1,0$.

$$L_{\text{вит.роз}} = 1,9 \cdot 12 \cdot 1,0 = 22,8 \text{ мм},$$

$$22,8 \text{ см} \leq 28 \text{ см}.$$

Для можливості захисного відключення в системах 6, 10 кВ використовуються трансформатори струму нульової послідовності, вибираємо трансформатор ТЗЛУ-205 30/1.

Проведемо вибір обладнання РУ-0,8 кВ.

Вибір ввідного автомата до секції 0,8 кВ, вибираємо ЕР 440 СВ Зр 4000А ЕТІ 30007.

- за напругою обладнання:

$$U_{\text{ном.в}} \leq U_{\text{ном.м}}, \quad (2.14)$$

$$0,8 \text{ кВ} \leq 0,8 \text{ кВ}.$$

- за номінальним робочим струмом:

$$I_{\text{ном.роб}} \leq I_{\text{ном.в}}, \quad (2.15)$$

де $I_{\text{ном.роб}}$ - номінальний робочий струм, що проходить через комірку КТП 10 кВ, і визначається наступним чином:

$$I_{\text{ном.роб}} = \frac{S_{\text{узе}}}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (2.16)$$

де $S_{уЗЕ}$ - приєднана потужність комплексу споруд УЗЕ, $S_{уЗЕ} = 4000$ кВА ,

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності УЗЕ, $\cos\varphi = 0,9$,

$U_{ном}$ - номінальна напруга ВН, $U_{ном} = 0,8$ кВ.

$$I_{ном.роб} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 3208 \text{ А} .$$

$$3208 \text{ А} \leq 4000 \text{ А} .$$

Вибір ввідного автомата до контейнерів шафи збору потужності, вибираємо 3WA1110-8AB32-4EA4-Z T40.

- за напругою обладнання:

$$U_{ном.В} \leq U_{ном.М} , \quad (2.17)$$

$$0,8 \text{ кВ} \leq 0,8 \text{ кВ} .$$

- за номінальним робочим струмом:

$$I_{ном.роб} \leq I_{ном.В} , \quad (2.18)$$

де $I_{ном.роб}$ - номінальний робочий струм, що проходить через комірку КТП 10 кВ до шаф збору потужності УЗЕ і визначається наступним чином:

$$I_{ном.роб} = \frac{S_{уЗЕн}}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U_{ном}} , \quad (2.19)$$

де $S_{уЗЕ}$ - приєднана потужність комплексу споруд УЗЕ, $S_{уЗЕн} = 1000$ кВА ,

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності УЗЕ, $\cos\varphi = 0,9$,

$U_{ном}$ - номінальна напруга ВН, $U_{ном} = 0,8$ кВ.

$$I_{\text{ном.роб}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0.9 \cdot 0.8} = 801,88 \text{ А}.$$

$$801,88 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}.$$

Вибір вимірювальних трансформаторів.

Вибираємо трансформатори струму ТАТ081.

- за напругою обладнання:

$$U_{\text{ном.тс}} \leq U_{\text{ном.м}}, \quad (2.20)$$

$$0,8 \text{ кВ} \leq 0,8 \text{ кВ}.$$

- за номінальним робочим струмом:

$$I_{\text{ном.роб}} \leq I_{\text{ном.тс}}, \quad (2.21)$$

$$801,88 \text{ А} \leq 1000 \text{ А}.$$

Вибираємо трансформатор напруги ТТВ020.

- за напругою обладнання:

$$U_{\text{ном.тн}} \leq U_{\text{ном.м}}, \quad (2.22)$$

$$0,8 \text{ кВ} \leq 0,8 \text{ кВ}.$$

Вибір вимикача-роз'єднувача, вибираємо вимикач-роз'єднувач Smart ARS pro-PV.

- за напругою обладнання:

$$U_{\text{ном.вн}} \leq U_{\text{ном.м}}, \quad (2.23)$$

$$0,8 \text{ кВ} \leq 0,8 \text{ кВ}.$$

- за номінальним робочим струмом:

$$I_{\text{ном.роб}} \leq I_{\text{ном.ВН}}, \quad (2.24)$$

де $I_{\text{ном.роб}}$ - номінальний робочий струм, що проходить через шафу збору потужності УЗЕ до систем перетворення потужності, і визначається наступним чином:

$$I_{\text{ном.роб}} = \frac{S_{\Pi}}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (2.25)$$

де $S_{\text{УЗЕ}}$ - приєднана потужність комплексу споруд УЗЕ, $S_{\Pi} = 200$ кВА ,

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності УЗЕ, $\cos \varphi = 0,9$,

$U_{\text{ном}}$ - номінальна напруга ВН, $U_{\text{ном}} = 0,8$ кВ.

$$I_{\text{ном.роб}} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 160,38 \text{ А}.$$

$$160,38 \text{ А} \leq 250 \text{ А}.$$

Для живлення навантажень 0,8 кВ власних потреб (ТВП), УЗЕ необхідно встановити трансформатор ТМ 25-0,8/0,4 кВ. Нище в таблицях 2.2 та 2.3 показані комірки в КТП, та обладнання, яке там розміщується.

Таблиця 2.2 Обладнання РУ-10 кВ

Номер комірки	Призначення комірки	Найменування обладнання	Тип обладнання
1	Комірка трансформатора Т	Вимикач вакуумний 10 кВ	VD4 12.12.25 P150

Продовження таблиці 2.2

1	Комірка трансформатора Т	Роз'єднувач 10 кВ	PB3-10/630-I-Y3
		Обмежувач перенапруг 10 кВ	ОПН-10/12/10/550-УХЛ1
		Трансформатор струму 10 кВ	ТОЛУ-10-2 кВ 300/5 0,5S/10P/10P 10/10/20 ВА
		Трансформатор напруги 10 кВ	3xIVS1F 10000:V3/100:V3/100:3 0.5/6P 50/50 В
		Трансформатор струму нульової послідовності	ТЗЛУ-205 30/1

Таблиця 2.3 Обладнання РУ-0,8 кВ

Номер комірки	Призначення комірки	Найменування обладнання	Тип обладнання
1	Ввідна комірка	Автоматичний вимикач	ЕР 440 SB 3р 4000А ETI 30007
2	Лінійна комірка	Автоматичний вимикач	3WA1110-8AB32-4EA4-Z T40
		Вертикальний вимикач-роз'єднувач	Smart ARS pro-PV
		Трансформатор напруги	TTV020 800/100В
		Трансформатор струму	TAT081 400/5 0,5 5 ВА
3	Лінійна комірка	Автоматичний вимикач	3WA1110-8AB32-4EA4-Z T40

Продовження таблиці 2.3

		Вертикальний вимикач- роз'єднувач	Smart ARS pro-PV
		Трансформатор напруги	iPRD40 40/15kA 350V 3P+N
		Трансформатор струму	TTV020 800/100B
4	Лінійна комірка	Автоматичний вимикач	3WA1110-8AB32- 4EA4-Z T40
		Вертикальний вимикач- роз'єднувач	Smart ARS pro-PV
		Трансформатор напруги	iPRD40 40/15kA 350V 3P+N
		Трансформатор струму	TTV020 800/100B
5	Лінійна комірка	Автоматичний вимикач	3WA1110-8AB32- 4EA4-Z T40
		Вертикальний вимикач- роз'єднувач	Smart ARS pro-PV
		Трансформатор напруги	iPRD40 40/15kA 350V 3P+N
		Трансформатор струму	TTV020 800/100B
6	Комірка ТВП	Трансформатор власних потреб	TM 25 кВА

Основні показники електричної частин будь-яких енергооб'єктів в енергосистемі такі як надійність, економічність, ремонтоздатність, безпеку обслуговування, зручність експлуатації. Головна електрична схема – це відповідальна ланка в проектуванні енергооб'єктів, це пояснюється тим, що вона визначає повний склад елементів та зв'язків між ними.

УЗЕ на території об'єкту комплектується шафою збору потужності, відстань між контейнерами УЗЕ, та між УЗЕ та шафою збору потужності рекомендована компанією Huawei Technologies для зручності та для безпеки обслуговування.

Головна електрична схема КТП-10/0,8 кВ та план території об'єкту із системами зберігання енергії зображені на рисунках 2.5, 2.6.

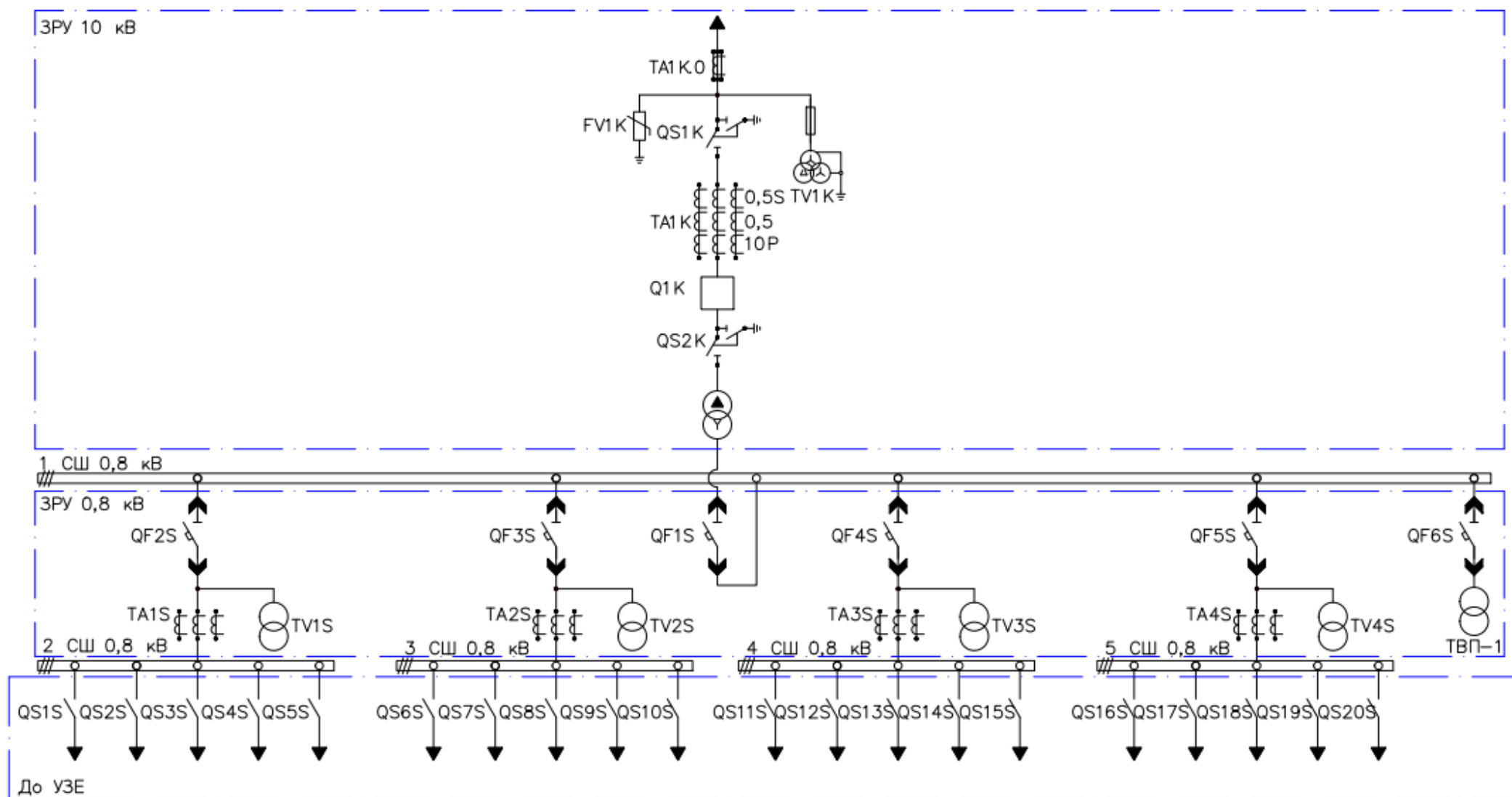


Рисунок 2.5 Головна електрична схема КТП-10/0,8-6300 кВА

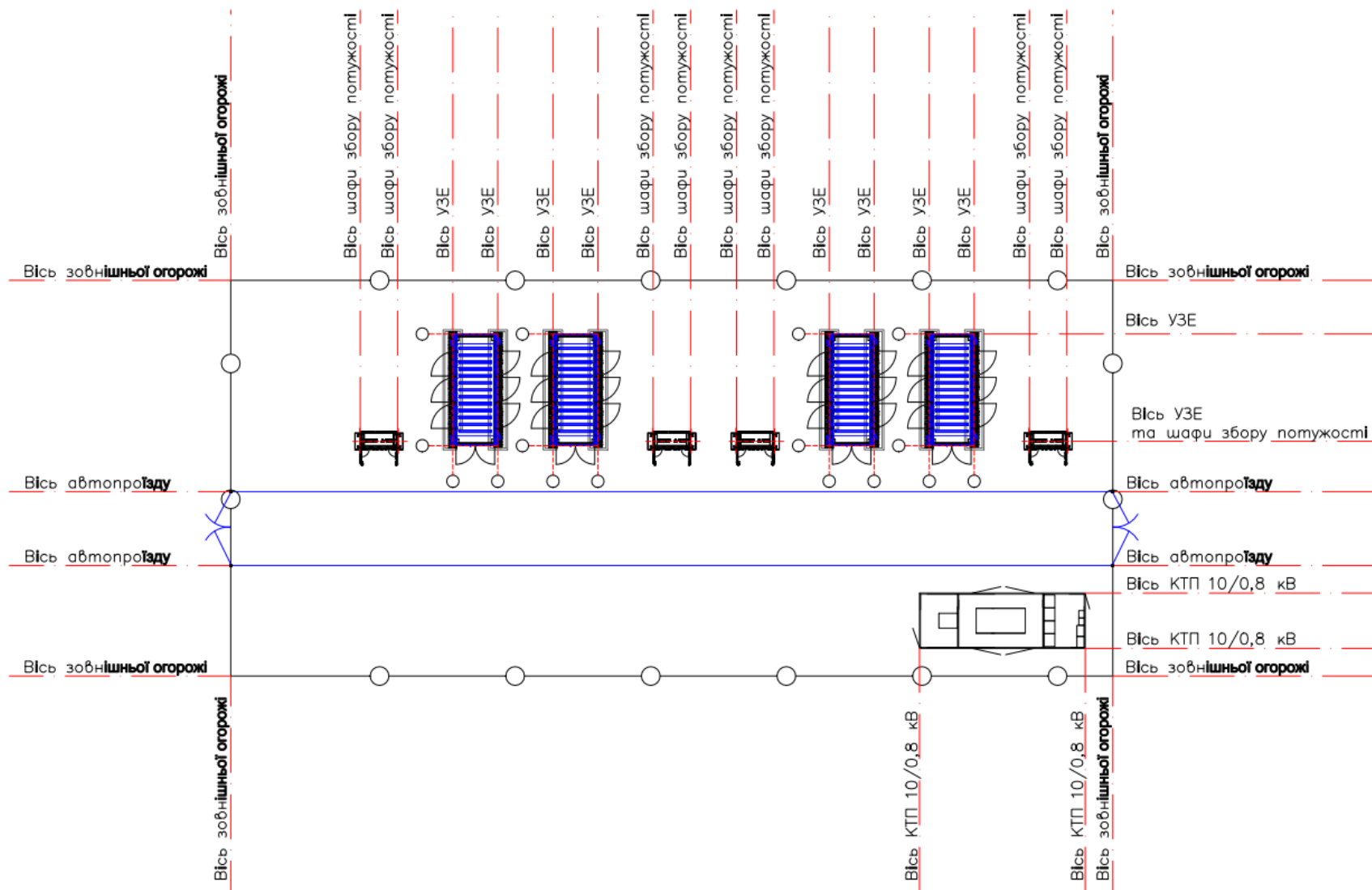


Рисунок 2.6 План території об'єкту

З ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ

3.1 Місце ВДЕ на ринку електричної енергії

Функціонування електроенергетичної галузі відбувається в ринкових умовах. Це обумовлює відповідні вимоги до професійної підготовки інженерно-технічних працівників та управлінських кадрів. Знання та навички з моделювання та розрахунку відповідних складових цін та тарифів є невід'ємною та, мабуть, одними із найважливіших у загальній структурі виробництва та і споживання електричної енергії.

Комунальні споживачі, промислові та державні споживачі так чи інакше працюють на ринку електричної енергії, де між ними виникають ринкові відносини, наприклад: купівля-продаж електричної енергії, передачі, розподілу цієї енергії споживачам.

Особливості ринку електричної енергії (механізму, що зводить разом покупців і продавців енергетичного товару) визначаються технологічними особливостями галузі, до яких можна віднести наступні:

- територіальна визначеність ринків для виробників електричної продукції, що пов'язано із розподілом продукції виключно за допомогою електричних чи теплових мереж;

- безперервність виробничого процесу, обов'язкова збіжність процесів виробництва і споживання енергії в часі, що вимагає їх постійної координації і регулювання, необхідно, щоб це постійно виконувалося;

- об'єднання процесів роботи енергетичних підприємств у межах однієї енергосистеми, внаслідок чого виникає необхідність низки функцій: розробки методів для визначення тарифів споживання, укладення договорів, складання та контроль балансів;

- загальнодержавна значимість енергетики, її значний, безпосередній вплив на економічну та оборонну сфери життя держави, це вимагає організації окремих договірних форм відносин між постачальниками і

споживачами, які здійснювалися б за регульованою і контрольованою багатоступеневою схемою, окрім того ринок енергії потребує регулювання в частині поставок товару і цін з боку держави.

Розвиток ринку електроенергії України відбувається з урахуванням як світового досвіду розвитку оптових ринків електричної енергії, так і особливостей функціонування об'єднаної електроенергетичної системи України, оскільки постачання електричної енергії є основною метою усіх ринків.

Нині ринок електричної енергії працює на моделі лібералізованого ринку, що розпочала діяти в 2019 році, в цілому ця модель відповідає ЄС, це пов'язано із особливостями роботи нашої енергосистеми [10], і із нашим законодавством, структура лібералізованого ринку електричної енергії зображена на рисунку 3.1.

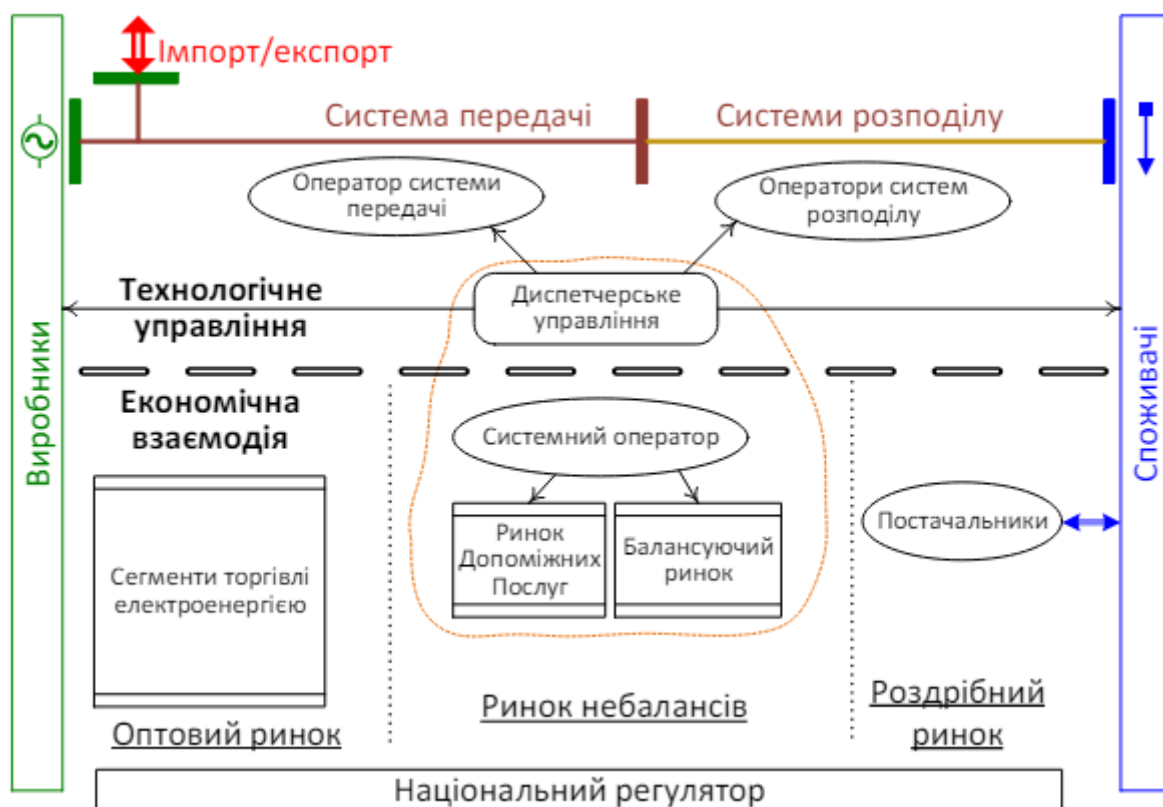


Рисунок 3.1 – Структура лібералізованого ринку електричної енергії

Відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» стратегія розвитку електроенергетики України буде відбуватися із поступовим збільшенням частки ВДЕ в загальній структурі ОЕС. Як вже зазначалося ВДЕ – джерела енергії, що мають різко нерівномірний графік покриття навантаження. Виробництво електроенергії від ВДЕ фактично залежить від поточних погодних умов, від так виникає необхідність прогнозування, тобто власник енергоустановки ВДЕ повинен подавати прогнозований графік вироблення електроенергії на його об'єкті, залежність кількості виробленої електроенергії від погодних умов (рівень сонячної радіації на одиницю площі, рівень хмарності, швидкість вітру, тощо). Похибка прогнозування призводить до появи позитивних чи негативних небалансів.

Залежно від різниці відпуску та споживання, небаланси можуть бути позитивними та негативними.

При позитивному:

- обсяг відпуску електричної енергії більший, ніж обсяг, запланований до продажу;
- обсяг спожитої електричної енергії менший, ніж обсяг закупленої електричної енергії.

Іншими словами, позитивний небаланс — це надлишок виробленої та не спожитої електричної енергії.

При негативному небалансі:

- обсяг відпуску електричної енергії менший, ніж обсяг, запланований до продажу; або
- обсяг спожитої електричної енергії більший, ніж обсяг закупленої електричної енергії.

Тобто негативний небаланс — це обсяг невиробленої електричної енергії або електричної енергії, яку потрібно додатково закупити для споживання.

Виходячи з цих особливостей позитивного та негативного небалансу, питання щодо їх оплати вирішуються оператором системи передачі (ОСП) НЕК «Укренерго» наступним чином:

- при позитивному небалансі ОСП викупляє надлишок електричної енергії, але за значно нижчою ціною, ніж на інших сегментах ринку;
- при негативному небалансі потрібно докупляти електричну енергію за більш високими цінами, і ці витрати понесе сторона, відповідальна за баланс.

Для того, щоб зрозуміти, хто відповідає за небаланси, слід розуміти, хто є стороною, відповідальною за баланс на ринку електричної енергії України.

Це в свою чергу потребує негайного втручання, щоб можна було повернути енергосистему до нормального режиму роботи. В цьому випадку це зробити складніше так як це обумовлює потребу ОЕС в додаткових регулюючих маневрових потужностях, що повинні вирівнювати графік навантаження, і балансувати швидкозмінний графік навантажень ВДЕ.

Небаланси від ВДЕ становлять серйозну проблему і для виробників «зеленої» енергії, адже об'єкти ВДЕ, що спричиняють небаланси в енергосистемі – примусово припиняють генерування електроенергії на запит диспетчерського управління поточної енергосистеми.

3.2 Економічна ідея застосування накопичувачів електричної енергії

Нерегульований та непередбачуваний характер відпуску електричної енергії СЕС та ВЕС в енергосистему сприяв і продовжує сприяти розумінню необхідності впровадження систем зберігання енергії, вони повинні забезпечувати багаторівневу систему підтримки безпеки режимів енергосистеми. До основних способів такої підтримки належать: сезонне регулювання балансу виробництва/споживання електричної енергії в енергосистемах; добове регулювання балансу виробництва чи споживання електричної енергії в енергосистемах, а також вирівнювання добових

графіків відпуску електроенергії чи електроспоживання в окремих точках комерційного обліку; вирівнювання графіків відпуску електроенергії чи електроспоживання в окремих точках комерційного обліку в межах розрахункової години; регулювання балансу виробництва чи споживання електричної енергії в енергосистемах, а також вирівнювання добових графіків відпуску електроенергії чи електроспоживання в окремих точках комерційного обліку на рівні одиниці реального часу 15 хвилин. До потенційно перспективних напрямків застосування систем зберігання енергії також відносять низку задач управління переобтяженнями системоутворювальних електричних перетинів та розподільних електричних мереж.

В найближчій перспективі розв'язуються задачі балансування електричної енергії в сегменті БР та регулювання частоти. Надання ОСП таких послуг можливо реалізувати великою кількістю систем зберігання енергії на різних підстанціях з ємністю, яка не впливатиме суттєво на режими ОЕС України чи розподільних електричних мереж у точці приєднання. Проте для втілення таких проєктів необхідно обґрунтувати їхню економічну доцільність з огляду на високу вартість та обмежений ресурс сучасних накопичувачів електричної енергії.

3.3 Обґрунтування додаткової стимуляції використання накопичувачів електричної енергії

Потенційний інвестор у відновлювальну енергетику хоче отримати максимальні прибутки від проєкту. Основним стимулом для виробників ВДЕ залишався і залишається «зелений» тариф, тобто можливість продавати електроенергію вироблену СЕС чи ВЕС за підвищеними цінами, і обов'язковою її купівлею державою і подальшим її розподілом в інших сегментах ринку електричної енергії. Це зумовило стрімкий розвиток відновлювальної енергетики, збільшення кількості, встановленої потужності енергоустановок ВДЕ, в основному СЕС, що в свою чергу

привело до проблем, описаних в попередніх розділах, тому виникла надзвичайна необхідність в регулюванні і підтримці номінального значення частоти в енергомережі.

Із задачею регулювання частоти в енергомережі може впоратися значне впровадження систем зберігання енергії, що братимуть участь у накопиченні електроенергії.

У випадку коли власниками систем зберігання енергії є ОСП чи ОСР економічне обґрунтування використання накопичувачів електричної енергії не є пріоритетним при їх застосуванні, так як оператори енергомереж використовуватимуть їх передусім для власних потреб регулювання режимів, і для розв'язання задачі вибору оптимальної ємності та місця встановлення накопичувачів орієнтуються на ефект впливу на режим.

Для операторів енергомережі економічні витрати на встановлення та обслуговування систем зберігання енергії порівнюються із затратами на інші способи регулювання режимів енергомережи при умовах, що будуть дотримуватися регламентовані обмеження режимних параметрів.

Для приватного інвестора низькорентабельне чи економічно збиткове рішення є принципово неможливим. Саме із цим пов'язана проблема саме економічного обґрунтування використання накопичувачів.

Цілком очевидно, наявність споруд УЗЕ на території об'єкту ВДЕ буде додатково здорошувати вартість послуг підрядних організацій, що займатимуться проектуванням УЗЕ, та власне буде додатково збільшувати загальний кошторис за рахунок ціни самих УЗЕ, витратами, що пов'язані з будівництвом та експлуатацією об'єкту ВДЕ, в свою чергу це буде безпосередньо впливати і на термін окупності проекту, тобто на його збільшення.

Необхідно провести порівняльний аналіз результатом якого буде формування бажаної пропозиції за надану послугу накопичення енергії від власника об'єкта ВДЕ, яка може дозволити власнику не сильно, або ж зовсім не збільшувати термін окупності об'єкту ВДЕ за рахунок тих фінансових

надходжень, що отримуватиме потенційний інвестор у відновлювальну енергетику.

Аналіз буде проводитися для оцінки тарифу за послугу продажу електроенергії, при якому термін окупності об'єкта ВДЕ із накопичувачами буде таким самим, як і термін окупності об'єкта ВДЕ без накопичувачів.

Проведемо порівняльний аналіз.

Розрахунок терміну окупності СЕС.

Вартість обладнання, будівництва, та експлуатації СЕС 10 МВт, складає $C_{\text{СЕС}} = 320564560, 00$ грн.

Термін окупності СЕС 10 МВт визначається:

$$T_{\text{окСЕС}} = \frac{C_{\text{СЕС}}}{W_{\text{СЕС}} \cdot C_{3.Т}}, \quad (3.1)$$

де $W_{\text{СЕС}}$ - електрична енергія, що виробляється СЕС,

$C_{3.Т}$ - вартість зеленого тарифу, $C_{3.Т} = 6,36$ грн/кВт.

$$W_{\text{СЕС}} = P_{\text{вст}} \cdot N_{\text{гр}} \cdot k_{\text{ое}}, \quad (3.2)$$

де $P_{\text{вст}}$ - встановлена потужність СЕС, $P_{\text{вст}} = 10$ МВт,

$N_{\text{гр}}$ - кількість годин в році, $N_{\text{гр}} = 8760$ год,

$k_{\text{ое}}$ - коефіцієнт отримання електричної енергії, що залежить від географічного розташування об'єкта ВДЕ, $k_{\text{ое}} = 0,09$.

$$W_{\text{СЕС}} = 10000 \cdot 8760 \cdot 0,09 = 7,884 \cdot 10^6 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$T_{\text{окСЕС}} = \frac{320564560,00}{7,884 \cdot 10^6 \cdot 6,36} = 6,393 \text{ років}.$$

Розрахунок тарифу для фінансової вигідності застосування накопичувачів електричної енергії.

Накопичувачі електричної енергії на основі літєвих акумуляторів за проектом працюватимуть в основному на БР.

Максимальна ціна на БР на електроенергію за даними НКРЕКП в нічний час складає $C_{н.ч}^{БР} = 4$ грн/кВт · год.

Тариф, що буде прийнятним з огляду на встановлення накопичувачів та збільшені інвестиції буде визначатися:

$$C_{п.ч}^{БР} = \frac{C_{інвц} \cdot n_{зр} + W_{СНЕРоб} \cdot C_{н.ч}^{БР} \cdot N_{мр} \cdot T_{окСЕС} \cdot n_{зрм}}{N_{мр} \cdot T_{окСЕС} \cdot n_{зрм} \cdot W_{СНЕРоб} \cdot 1000} \quad (3.3)$$

де $C_{інвц}$ - інвестиційна складова УЗЕ, що враховує витрати на закупівлю та встановлення УЗЕ для одного МВт·год робочого діапазону на один цикл заряд /розряду [11],

$n_{зр}$ - кількість циклів заряд/розрядів перш ніж ємність накопичувача деградує до 80% від номіналу, $n_{зр} = 5000$,

$W_{СНЕРоб}$ - робочий діапазон заряджання/розряджання накопичувача, $W_{СНЕРоб} = 0,8$ МВт · год,

$N_{мр}$ -кількість місяців в році, $N_{мр} = 12$ міс ,

$n_{зрм}$ - кількість заряд/розрядів УЗЕ за місяць, за 30 днів,

$$C_{інвц} = \frac{\left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot \left(\frac{n \cdot C_{УЗЕ} + S_{нц} + C_{КТП}}{n_{зр}}\right)}{W_{СНЕРоб}} \quad (3.4)$$

де R - рентабельність на капітальні інвестиції, яка встановлюється НКРЕ на основі практики галузі, але не менше облікової ставки НБУ, $R = 8,5\%$,

n - кількість УЗЕ, $n = 4$,

$C_{\text{УЗЕ}}$ - вартість УЗЕ, $C_{\text{УЗЕ}} = 40715840,00$ грн,

$S_{\text{нц}}$ - витрати на обслуговування УЗЕ, $S_{\text{нц}} = 618880,00$ грн,

$C_{\text{КТП}}$ - вартість КТП, $C_{\text{КТП}} = 8143168,00$ грн.

$$C_{\text{інв}} = \frac{\left(1 + \frac{8,5}{100}\right) \cdot \left(\frac{4 \cdot 40715840,00 + 618880,00 + 8143168,00}{5000}\right)}{0,8} = 46553,39 \text{ грн}$$

$$n_{\text{зрм}} = n_{\text{зрд}} \cdot 30 \quad (3.5)$$

де $n_{\text{зрд}}$ - кількість заряд/розрядів УЗЕ за день, $n_{\text{зрд}} = 20$.

$$n_{\text{зрм}} = 20 \cdot 30 = 600$$

$$C_{\text{п.ч}}^{\text{БР}} = \frac{46553,39 \cdot 5000 + 0,8 \cdot 4 \cdot 12 \cdot 6,393 \cdot 600}{12 \cdot 6,393 \cdot 600 \cdot 0,8 \cdot 1000} = 10,32 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}.$$

Розрахований тариф вартості електроенергії дає можливість окупити витрати на інвестиції за той самий час, за який власник планує окупити СЕС без додаткового будівництва комплексу споруд зберігання енергії.

Це дозволить отримати бажану пропозицію за надану послугу накопичення енергії власнику об'єкта ВДЕ.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі обслуговування електричної частини підстанції з накопичувачем електричної енергії. Отже, на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює експлуатацію обладнання підстанції, впливають такі шкідливі виробничі фактори [12, 13]: фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Роботи в діючих електроустановках слід проводити за нарядом, розпорядженням та в порядку поточної експлуатації. Роботи, які виконують в порядку поточної експлуатації працівники на закріплених за ними електроустановках, проводять без оформлення наряду або розпорядження. Перелік робіт, які виконують у порядку поточної експлуатації, затверджує керівництво підприємства. За нарядами слід виконувати всі роботи, які не ввійшли до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації та за розпорядженням.

Забороняється самовільне проведення робіт, а також розширення робочих місць та обсягу завдання, визначених нарядом або розпорядженням.

Виконання робіт в електроустановках в зоні дії іншого наряду слід узгоджувати з працівником, який видав попередній наряд. Узгодження оформлюється до підготовки робочого місця записом на полях наряду (біля таблиці 2) "Узгоджено" та за підписом працівника, який узгоджує.

Ремонт електроустановок із застосуванням вантажопідіймальних машин, механізмів або великогабаритних пристроїв, за винятком ямобурів і телескопічних пристроїв для піднімання людей, слід виконувати за технологічними картами або ППР.

В електроустановках до 1000 В електростанцій, підстанцій і на КЛ під час виконання роботи під напругою необхідно:

- відгородити розташовані поблизу робочого місця струмовідні частини, що перебувають під напругою, до яких можливий випадковий дотик;
- працювати в діелектричних калошах, ботах або стоячи на ізолювальній підставці чи на гумовому діелектричному килимку;
- застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками (у викруток повинен бути ізольований стрижень). У разі відсутності такого інструменту слід користуватись діелектричними рукавичками.

Забороняється працювати в одязі з короткими або зачоченими рукавами, користуватись ножівками, металевими метрами тощо.

В електроустановках понад 1000 В під час проведення робіт на струмовідних частинах, що перебувають під напругою, за допомогою захисних ізолювальних засобів необхідно:

- користуватись тільки випробуваними сухими та чистими ізолювальними засобами з непошкодженим лаковим покриттям;
- тримати ізолювальні засоби за ручки-захвати не далі обмежувального кільця;

- розмістити ізолювальні засоби так, щоб не виникала небезпека перекриття між фазами або фази на землю.

Під час виконання роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги, електровимірювальні штанги та кліщі, покажчики напруги) допускається наближатись людині до струмовідних частин на відстань, визначену довжиною їхньої ізолювальної частини.

Забороняється в електроустановках працювати в зігнутому положенні, якщо у разі випрямлення відстань до струмовідних частин буде менша за зазначену в інструкціях з ОП. Забороняється в електроустановках електростанцій та підстанцій 6-110 кВ під час роботи біля неогороджених струмовідних частин розміщуватись так, щоб вони були позаду або з обох боків.

На ПЛ, за винятком зовнішніх вводів 0,4 кВ до будівель, та ПЛЗ перед розриванням або з'єднанням електрично сполучених складників (проводів, тросів) необхідно встановлювати заземлення з обох боків розриву (передбачуваного розриву).

В темний період доби ділянки робіт, робочі місця, проїзди і підходи до них слід освітлювати. Забороняється працювати в неосвітлених місцях.

У випадку наближення грози слід припинити всі роботи на ПЛ, ПЛЗ; у ВРУ, ЗРУ на виводах та лінійних роз'єднувачах ПЛ; на КЛ, під'єднаних до діляниць ПЛ, а також на вводах ПЛЗ в приміщеннях вузлів зв'язку та на антенно-щоглових спорудах.

Всі працівники, які перебувають в діючих електроустановках (за винятком щитів керування, приміщень з релейними панелями та їм подібних), в колодязях, тунелях, траншеях, повинні користуватись захисними касками.

Працівникам підприємств, інших організацій, направлених у відрядження, одноособово можна записувати покази лічильників та інших вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в РУ. У разі наявності місцевих оперативних працівників відряджені працівники

повинні мати групу II, а у разі відсутності місцевих оперативних працівників - групу III. Працівники, які обслуговують компресорні установки та повітрозбірники, електролізні установки, акумуляторні батареї та зарядні пристрої, повинні мати групу III.

4.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;

- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огороджувати;

- приєднати до "землі" переносні заземлення;

- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;

- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;

- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати

безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [14], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

За безпечність конструкції, правильність вибору матеріалів, якість виготовлення, а також за відповідність засобів захисту чинним в Україні нормативним документам повинні нести відповідальність керівники підприємств, установ, організацій (незалежно від форми власності), що виготовляють ці засоби захисту, орган, який видав сертифікат на виробництво та на реалізацію захисних засобів, в тому числі і засобів захисту зарубіжного виробництва.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 4.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдува;
- провітрювання приміщення.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях

можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4
Вуглець (II) оксиду	20		4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

4.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт під час експлуатації електрообладнання – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «Г», описано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	Г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	3	1,8

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

4.2.4 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Проектом передбачені засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення підстанції за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами II-III (місця, де зберігаються тверді горючі речовини). Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинали) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвилинах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекрытия	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.7 (в знаменнику).

Таблиця 4.7 - Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, сільськогосподарських будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
III	8/9	8/12	10/15

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м².

На території підстанції встановлено 16 вогнегасників ВП-5.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській дипломній роботі було оцінено вплив ВДЕ на параметри енергосистеми, можливості регулювання цих параметрів, розглянуто обов'язкову важливість дотримання регламентованих значень рівня частоти, його вплив на стан енергосистеми. Розглянуто основні причини стабільного розвитку ВДЕ, та можливі напрями їх розвитку у майбутньому.

Системи зберігання енергії мають змогу регулювати режими енергосистеми, акумулювати та віддавати електроенергію в мережу. Вони поділяються на механічні, теплові, хімічні, електричні, електрохімічні, найбільшу встановлену потужність мають ГАЕС, що регулюють частоту в енергомережі. Найбільшого поширення немеханічних систем зберігання енергії набули електрохімічні літій-іонні накопичувачі, вони вирізняються з поміж усіх відносно хорошими енергетичними характеристиками та невисокою вартістю.

В бакалаврській дипломній роботі було запропоновано використання літій - іонних накопичувачів електричної енергії компанії Huawei Technologies, вони мають хороші характеристики, значні ресурсні показники заряду – розряду. Для зв'язку із енергосистемою рішеннями передбачено встановлення КТП, із подальшим вибором обладнання в КТП.

Одним із найголовніших питань використання систем зберігання енергії є економічне обґрунтування використання накопичувачів. В бакалаврській дипломній роботі передбачено створення додаткової послуги на ринку електричної енергії, що б дало змогу власникам ВДЕ отримувати прибуток через спеціальний тариф, внаслідок чого термін окупності міг не зовсім, або ж зовсім не збільшуватися.

Впровадження накопичувачів електричної енергії дозволить вирішити проблему із небалансами від ВДЕ. Додаткова послуга в формі спеціального тарифу на балансуєчому ринку для виробників ВДЕ - зробить інвестиції у

відновлювану енергетику більш привабливими для можливих виробників ВДЕ, що в цілому позитивно вплине на і на стан економіки держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О.С. Яндульський , А.Б. Нестерко, О.В. Тимохін, Г.О. Труніна Регулювання частоти та потужності електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії Монографія - Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017.- 200 с.
2. Вимоги до регулювання частоти і потужності в ОЕС України: СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009. Чинний від 2009-05-23. - Київ: Мінпаливенерго, 2009. – 54 с.
3. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видпнмицтво «Форт», 2017. - 760 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
5. С. О. Кудря В. І. Будько Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії Курс лекцій – Київ.: НТУУ КПІ, 2013. – 387 с.
6. Л. Н. Добровольська, В. В. Кулик, П. Д. Лежнюк Електроощадні технології в електричних мережах енергосистем Навчальний посібник - Луцьк ІВВ Луцького НТУ, 2018. – 328 с.
7. О. Гуменюк І. Куроєдова Р. Гаврилюк Розвиток відновлюваної енергетики та створення балансуючих потужностей – аналіз викликів для стійкості енергосистеми України в розрізі досягнення енергетичних та кліматичних цілей Дослідження Київ СУАЕ, НЕЦУ – 30 с.
8. М. П. Кузнєцов О. А. Мельник Комплексне використання відновлюваних джерел енергії Курс лекцій – Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 304 с.
9. О. М. Суходоля Новітні енергетичні технології та їх вплив на функціонування систем енергопостачання Аналітична доповідь Київ :

НІСД, 2022. – 36 с. – https://niss.gov.ua/sites/default/files/2022-12/ad_new-energy-technologies_gotove.pdf.

10. І.В. Блінов, Є.В. Парус Оптовий та роздрібний ринок електричної енергії Навчальний посібник - Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського 2023 Інститут електродинаміки НАН України, 2023 – 291 с.

11. І.В Блінов Є.В. Парус Оцінка економічного ефекту від надання системами накопичення електричної енергії послуги балансування в ОЕС України <file:///C:/Users/user/Downloads/Telegram%20Desktop/28-37---i..pdf> Інститут електродинаміки НАН України, 2023-10 с.

12. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

13. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

14. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Використання накопичувачів електричної енергії для покриття небалансів в електричній системі з відновлювальними джерелами енергії

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

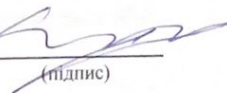
Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 83,7% Схожість 16,3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. 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.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

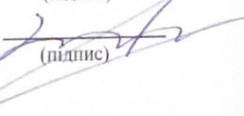
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Євдокимов К.Р.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б

Актуальність роботи. Стратегія розвитку енергетики України передбачає значне збільшення встановленої потужності енергоустановок ВДЕ в сукупності із іншими елементами енергосистеми, така тенденція відбувається і в інших країнах. Робота енергоустановок ВДЕ пов'язана із процесами прогнозування вироблення електроенергії. Прогнозування – процес, що відбувається із похибками, що в свою чергу є однією з причин збільшення небалансів потужності в енергосистемі, що впливають на зміну її режимів роботи. Вирішенням цієї проблеми – може бути застосування систем зберігання енергії, що братимуть участь в регулюванні потужності, і забезпечувати необхідні значення параметрів енергосистеми.

Мета і задачі дослідження: дослідження відновлювальної енергетики, її вплив на енергосистему, дослідження способів балансування потужності за допомогою систем зберігання енергії, технічно-економічне обґрунтування використання систем зберігання енергії.

В кожен, як завгодно малий проміжок часу, в електроенергетичній системі повинен суворо дотримуватися баланс між виробництвом і споживанням (включаючи втрати на передачу і розподіл) електричної енергії.

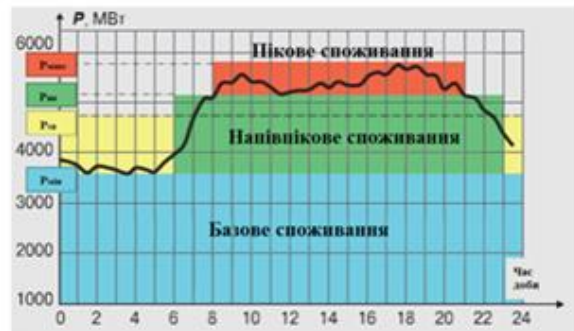
Порушення балансу активної потужності приводить до зміни частоти, що є одним із найважливіших параметрів стану енергосистеми, забезпечення якого визначає ефективність і надійність роботи енергосистеми.

Регулювання частоти в електричній мережі реалізується шляхом регулювання обсягів генерування та споживання активної потужності.

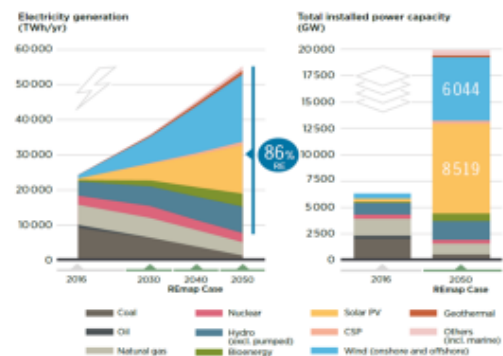
Повернення частоти до нормального рівня, внаслідок її зниження, відбувається через збільшення генерування активної потужності, і здійснюється за допомогою автоматичного регулювання швидкості обертання турбіни. Якщо частота в системі не досягла номінального значення, то в такому випадку застосовується АЧР.

Регулювання частоти в електроенергетичній системі здійснюють за допомогою електростанцій, що балансуються по частоті. Пікові навантаження графіка електричного навантаження покривають ГЕС, ГАЕС, ГТУ.

Також для балансування графіків навантаження можуть бути використані засоби накопичення енергії (ЗНЕ)



Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) – це джерела, що здатні поновлюватися природним шляхом. З прискоренням глобального процесу електрифікації попит на електроенергію продовжить зростати, особливо це спостерігається в постіндустріальних країнах.



Протягом останніх довоєнних років було введено в ОЕС нових генеруючих потужностей ВДЕ вдвічі більше ніж за попередній період

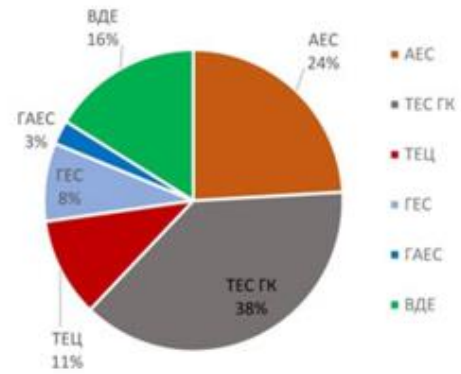
Електрична енергія, що генерується джерелами електроенергії СЕС та ВЕС носить імовірнісний характер, що вимагає збільшення регулюючих потужностей



Безконтрольне інтегрування потужностей ВДЕ призводить до небалансу в ОЕС.

Також внаслідок збільшення похибки в прогнозуванні виробництва електроенергії ВДЕ, суттєво зростають витрати на врегулювання небалансів та цін на ринку допоміжних послуг.

Відтак виникає необхідність розвитку СНЕ для надання послуг підтримки операційної безпеки режимів ОЕС у частині балансування електричної енергії в сегменті балансуючого ринку.



За оцінкою EASE (European Association for Storage of Energy) системи зберігання поділяються наступним чином: механічні, теплові, хімічний, електрохімічний, електричний.



ГАЕС в розрізі



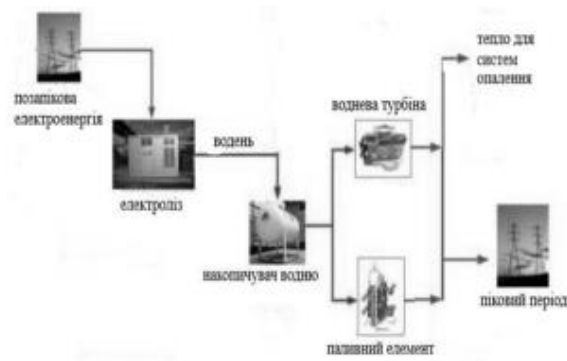
Гравітаційний накопичувач електроенергії вагонеткового виконання



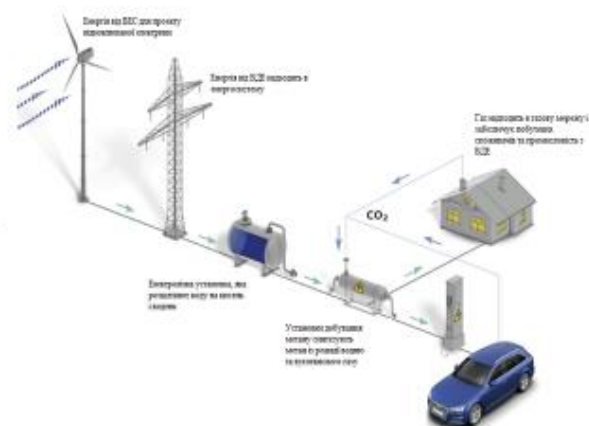
Резервуар для зберігання стисненого повітря



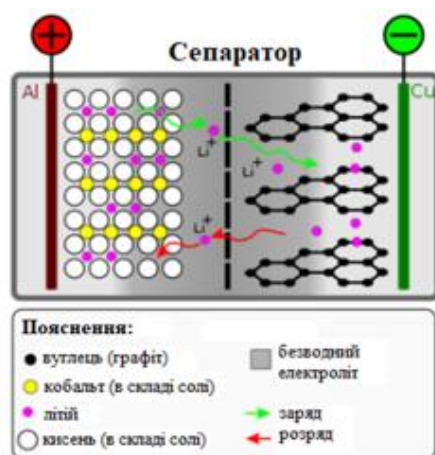
Система зберігання електричної та теплової енергії



Процес накопичення водневої енергії



Застосування CNG - станції



Літій-іонний акумулятор

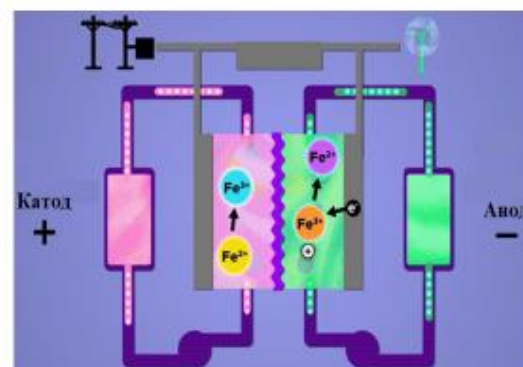
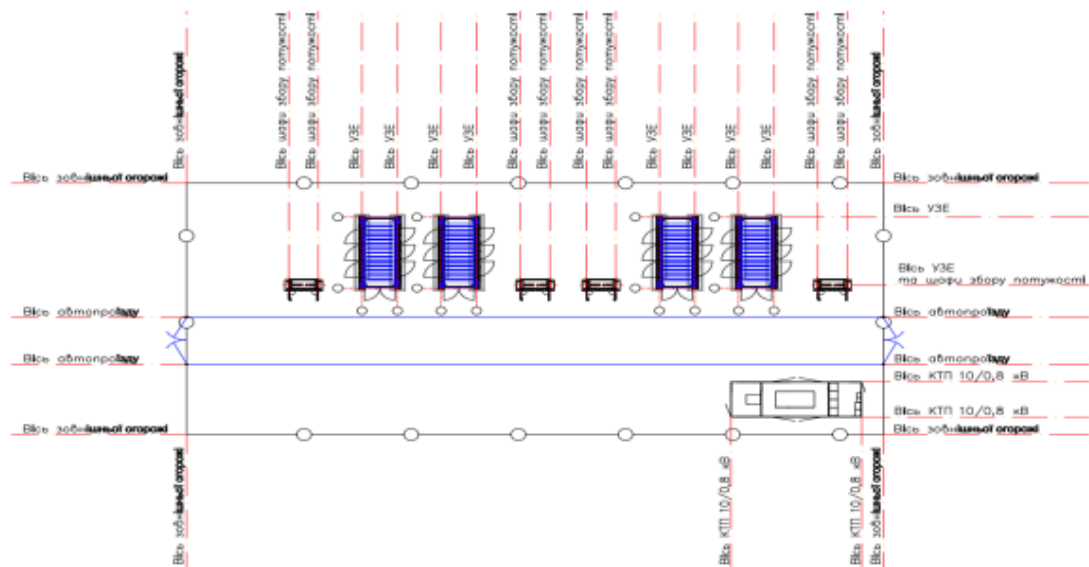
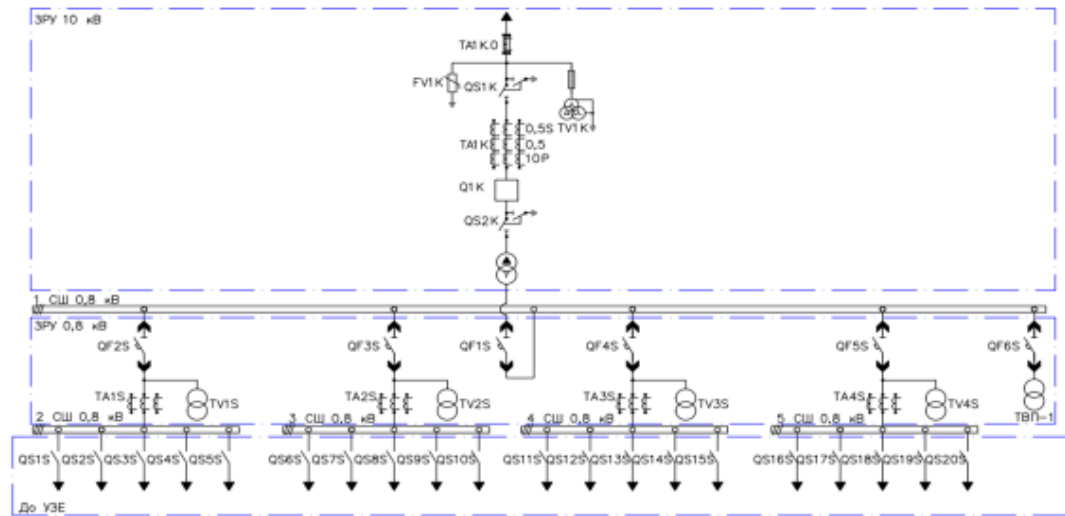


Схема проточної батареї

Системи зберігання енергії виробництва компанії Huawei Technologies складаються з: розумні стрингові УЗЕ, розподільчого щита постійного струму, системи інтелектуального перетворення енергії, розумного контролера, та підвищуючого трансформатора.



Для збору та передачі потужності УЗЕ на території об'єкту передбачено встановлення КТП-10/0,8-6300 кВА, нище наведена головна електрична схема



Цілком очевидно, встановлення СНЕ на території об'єкту ВДЕ призведе до збільшення капіталовкладень і та терміну окупності проекту.

Було проведено розрахунок для формування бажаної пропозиції за надану послугу накопичення енергії СНЕ, а саме розрахований тариф вартості продажу електроенергії, який дає можливість окупити витрати на інвестиції за той самий час, за який власник планує окупити СЕС без накопичувачів.

$$C_{п.ч}^{БР} = \frac{C_{ини} \cdot n_{пр} + W_{CHЕроб} \cdot C_{п.ч}^{БР} \cdot N_{пр} \cdot T_{онСЕС} \cdot n_{пр}}{N_{пр} \cdot T_{онСЕС} \cdot n_{пр} \cdot W_{CHЕроб} \cdot 1000}$$

$$C_{п.ч}^{БР} = \frac{46553,39 \cdot 5000 + 0,8 \cdot 4 \cdot 12 \cdot 6,393 \cdot 600}{12 \cdot 6,393 \cdot 600 \cdot 0,8 \cdot 1000} = 10,32 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$$

Висновки

В бакалаврській дипломній роботі було оцінено вплив ВДЕ на параметри енергосистеми, можливості регулювання небалансів. Було досліджено роботу різних систем зберігання енергії.

Запропоновано використання літій-іонних накопичувачів, що працюють в комплексі споруд зберігання енергії. Для зв'язку із енергосистемою рішеннями передбачено встановлення КТП.

В роботі було економічно обгрунтовано застосування накопичувачів, шляхом розрахунку спеціального тарифу для продажу електроенергії на балансуєчому ринку.

Впровадження накопичувачів електроенергії може позитивно вплинути на стан ОЕС України в майбутньому, а розвиток і здешевлення технологій накопичення в комплексі із додатковим економічним стимулюванням зробити інвестування загалом у відновлювальну енергетику більш привабливим для потенційних інвесторів.