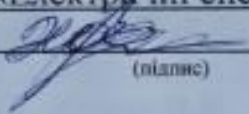



Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

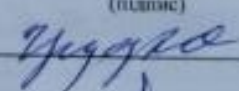
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

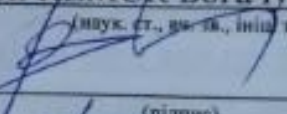
на тему:


«ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПЕРАТОРІВ
СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ»

Виконав: студент другого курсу,
групи ЕСМ-21м, спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
за ОП «Електричні системи та мережі»
 Харченко О. О.
(підпис)

Керівник: д.т.н., доцент,
професор каф. ЕСС Кулик В. В.
(наук. ст., вч. зв., ініціал та прізвище)

(підпис)

«14»  2022 р.

Опонент: к.т.н., доцент, доцент
кафедри КЕМСК Богачук В.В.
(наук. ст., вч. зв., ініціал та прізвище)

(підпис)

«20»  2022 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.
(наук. ст., вч. зв., ініціал та прізвище)


(підпис)
«16»  2022 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.
(наук. ст., уч. зв., інж. та прот.)

(підпис)

«19» березня 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Харченку Олексію Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Використання промислових накопичувачів електроенергії для підвищення ефективності функціонування операторів системи розподілу»
Керівник роботи д.т.н., доцент, професор каф. ЕСС Кулик В.В.
Затверджено наказом вищого навчального закладу від 14.09.2022 року № 203
2. Термін подання студентом роботи 30 листопада 2022 року.
3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Робочі рівні напруг на шинах джерела живлення становлять за найбільших навантажень 105%, за найменших – 100%, для післяаварійних режимів – 110%. Найменше навантаження влітку 35% від найбільшого зимового. Тривалість використання найбільшого навантаження 5200 годин на рік. Середня вартість 1 кВт год недовідпущеної 1.85 грн. споживачам електроенергії 37 грн. Вартість 1 кВт год втраченої електроенергії становить 1.65 грн. Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів. Надана схема нормального режиму мережі АТ «Вінницяобленерго». Дані погодинного споживання.
4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування доцільності використання промислових накопичувачів електроенергії. 2. Методи та алгоритми оптимізації розміщення промислових накопичувачів електроенергії в мережах операторів системи розподілу. 3. Застосування промислових накопичувачів електроенергії для підвищення ефективності роботи операторів системи розподілу. 4. Охорона праці та пожежна безпека. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1.Схема нормального режиму фрагменту ЕМ ПАТ «Вінницяобленерго»

6. Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав	Виконав
Спеціальна частина	Керівник роботи Кулик В.В., д.т.н., доцент, професор кафедри ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Рубаненко О. Є., к. т. н., професор, професор кафедри ЕСС	16.09.2022 	14.12.2022
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доцент, доцент кафедри ЕСС	16.09.2022 	14.12.2022

15 вересня 2022 року

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	
		Початок	Кінець
1	Розроблення технічного завдання	03.09.22	06.09.22
2	Аналіз літератури та дослідження питання впливу ПНЕ на роботу електроенергетичної системи України та закордоном	08.09.22	25.09.22
3	Технології електрохімічних батарей. Компоненти акумуляторних систем зберігання енергії	21.09.22	02.10.22
4	Оптимізація розміщення ПНЕ в електричній мережі. Визначення оптимальної потужності ПНЕ	02.10.22	27.10.22
5	Алгоритми оптимізації розміщення ПНЕ в електричних мережах.	27.10.22	04.11.22
6	Охорона праці та пожежна безпека при роботі з промисловими накопичувачами енергії	04.11.22	12.11.22
7	Економічна частина	13.11.22	18.11.22
8	Оформлення пояснювальної записки	20.11.22	23.11.22
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	24.11.22	30.11.22

Студент:

Керівник роботи:

(підпис)

(підпис)

Харченко О.О.

АНОТАЦІЯ

Харченко Олексій Олексійович «Використання промислових накопичувачів електроенергії для підвищення ефективності функціонування операторів системи розподілу». Вінниця: ВНТУ. 2022 р.-151 с.

Магістерська кваліфікаційна робота викладена на 151 сторінках, вона містить 4 розділів, 38 ілюстрацій, 4 таблиць, 54 джерел в переліку посилань.

Об'єктом розгляду магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка впливу промислового накопичувача електроенергії на розподільні електричні мережі..

Предмет роботи – методи і засоби інтеграції промислового накопичувача електроенергії в розподільні електричні мережі. .

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування операторів системи розподілу (ОСР), завдяки використанню промислових накопичувачів електроенергії (ПНЕ).

У першому розділі представлені техніко-економічне та науково-технічне обґрунтування доцільності використання промислових накопичувачів електроенергії . У другому розділі – методи та алгоритми оптимізації розміщення промислових накопичувачів електроенергії . В розділі третьому представлені практичні розрахунки. В останньому розділі дипломної роботи були розглянуті норми та заходи з охорони праці й техніки безпеки .

Ключові слова: оператори системи розподілу, накопичувач, система накопичування енергії, інтеграція, відновлювані джерела енергії, електричні мережі, розвиток, ефективність.

ANNOTATION

Oleksiy Oleksiyovych Kharchenko "Using industrial electricity storage to improve the efficiency of distribution system operators." Vinnytsia: VNTU. 2022

The master's thesis is laid out on 151 pages, it contains 4 chapters, 38 illustrations, 4 tables, 54 sources in the list of references.

The object of consideration of the master's qualification work is the assessment of the impact of the industrial electricity storage on distribution electric networks.

The subject of the work is the methods and means of integrating the industrial electricity storage in distribution networks. .

The aim of the work is to increase the efficiency of distribution system operators (DSOs) through the use of industrial electricity storage (PNE).

The first chapter presents technical-economic and scientific-technical justification of the feasibility of using industrial electricity storage. In the second section - methods and algorithms for optimizing the placement of industrial electricity storage devices. The third section presents practical calculations. In the last chapter of the diploma work, norms and measures of occupational health and safety were considered.

Key words: distribution system operators, accumulator, energy storage system, integration, renewable energy sources, electric networks, development, efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	11
1.1. Компоненти системи накопичення електроенергії.....	13
1.2. Електрохімічні технології накопичення електроенергії.....	14
1.2.1. Проточна батарея.....	14
1.2.2. Акумуляторна система Metal-Air.....	16
1.2.3. Нікель-кадмієвий акумулятор.....	17
1.2.4. Нікель-металгідридний акумулятор	19
1.2.5. Свинцево-кислотний акумулятор	20
1.2.6. Літій-іонний акумулятор	21
1.2.7. Літій-сірчаний акумулятор.....	23
1.2.8. Літій-метал-полімерний акумулятор	24
1.2.9. Натрій-іонний акумулятор	24
1.2.10. Натрій-нікель-хлоридний акумулятор.....	25
1.2.11. Натрій-сірчаний акумулятор.....	27
1.3. Допоміжні послуги в розподільних мережах.....	29
1.3.1. Підтримка напруги	29
1.3.2. Регулювання частоти.....	30
1.3.3. Управління перевантаженням.....	31
1.3.4. Управління піковим навантаженням і балансування навантаження	31
1.3.5. Зсув енергії в часі. Арбітраж.....	33
1.3.6. Резервне джерело живлення.....	33
1.3.7. «Чорний запуск».....	33
1.3.8. Інтеграція відновлюваних джерел енергії.....	34
1.4. Економічний та фінансовий аналіз.....	35
1.5. Застосування технології накопичення електроенергії в світі	37

1.5.1. США.....	37
1.5.2. Європа. Європейський Союз.....	39
1.5.3. Австралія.....	39
1.5.4. Азія.....	41
1.6. Висновки до першого розділу.....	41
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ.....	43
2.1. Постановка оптимізаційної задачі.....	44
2.2. Вирішення задачі оптимізації.....	49
2.3. Моделі ідеального струморозподілу в розподільних електричних мережах.....	51
2.4. Оптимізація розміщення. Критерій максимальної рентабельності.....	55
2.5. Багатокритеріальна оптимізація розміщення.....	60
2.6. Оптимізація приєднання. Алгоритм.....	64
2.7. Висновки до другого розділу.....	66
РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ.....	68
3.1. Використання промислового накопичувача електроенергії, для зменшення витрат ОСР на закупівлю електроенергії.....	68
3.2. Використання промислового накопичувача електроенергії для вирівнювання графіків навантаження.....	80
3.3. Висновки до третього розділу.....	86
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА.....	87
4.1. Вимоги до експлуатації приміщення акумуляторної.....	88
4.2. Вимоги до експлуатації інструменту для обслуговування промислового накопичувача електроенергії.....	91
4.3. Вимоги до ремонту та експлуатації промислових накопичувачів електроенергії.....	99

4.4. Вимоги до вентиляції виробничих приміщень з промисловими накопичувачами електроенергії. Розрахунок вентиляції акумуляторної.....	101
4.5. Висновки до п'ятого розділу	105
ВИСНОВКИ	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	109
ДОДАТКИ	116
ДОДАТОК А Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи.....	117
ДОДАТОК Б Технічне завдання МКР	118
ДОДАТОК В «ВТРАТИ». РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМУ МАКСИМАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВХІДНОЇ ЕМ	122
ДОДАТОК Г «ВТРАТИ». РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМУ МАКСИМАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІСЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ПНЕ СУМАРНОЮ ЄМНІСТЮ 8 МВТ·ГОД	128
ДОДАТОК Д «ВТРАТИ». РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМУ МАКСИМАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІСЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ПНЕ СУМАРНОЮ ЄМНІСТЮ 80 МВТ·ГОД	134
ДОДАТОК Е Графічна частина. Презентація	140

ВСТУП

Оператори системи розподілу (ОСР) переживають критичний період змін, спричинених різними та взаємопов'язаними факторами: наприклад розширення та забезпечення надійності мережі, управління попитом, перевантаження мережі, вимоги до якості електроенергії, інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), поява нових видів споживачів, теплових насосів тощо, а також декарбонізація в транспортному секторі, яка значно прискорює глобальне поширення електромобілів.

Перехід і широке проникнення електромобілів суттєво змінює структуру споживання електроенергії та взаємодію споживачів з операторами системи розподілу (ОСР), на стороні пропозиції та попиту, перевантаженій мережі буде все важче збалансувати поширені вимоги до швидкої зарядки електромобілів, що матиме значний вплив на планування та функціонування розподільних електричних мереж. У зв'язку з цим існує нагальна потреба в застосуванні та використанні передових технологій накопичення енергії, для пом'якшення потенціалу масштабних відключень електроенергії, спричинених дисбалансом між попитом і пропозицією.

Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є більш екологічно стійким, велика залежність від відновлюваних джерел енергії може зробити системи розподілу електроенергії менш надійними. Промислові системи накопичення електроенергії можуть підтримувати відновлювані джерела енергії, забезпечуючи підтримку напруги, згладжуючи коливання їх вихідної потужності, балансуючи потік електроенергії в мережі, узгоджуючи попит і пропозицію, а також допомагаючи розподільчим компаніям (ОСР та роздрібним продавцям електроенергії) надійно та стабільно задовольняти попит. Ці експлуатаційні проблеми можна пом'якшити за допомогою належного використання інтегрованих у мережу промислових накопичувачів

електроенергії (ПНЕ). Таким чином, існує великий потенціал для використання ПНЕ, як з точки зору комунальних підприємств, так і споживачів.

Актуальність теми. Використання промислових накопичувачів електроенергії (ПНЕ) в розподільних мережах забезпечить технічні, економічні та екологічні переваги, для операторів системи розподілу (ОСР). Ці переваги включають покращення якості електроенергії, згладжування коливань потужності, пом'якшення коливань напруги, регулювання частоти, вирівнювання графіків навантаження мережі та зменшення пікових навантажень, сприяння інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), розширення мережі та загальне зниження витрат, експлуатаційні резерви та зменшення викидів парникових газів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування операторів системи розподілу (ОСР), завдяки використанню промислових накопичувачів електроенергії (ПНЕ).

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішувалися наступні основні завдання:

- аналіз стану проблеми впровадження промислових накопичувачів електроенергії в розподільних мережах та їх методичне забезпечення;
- аналіз існуючих методів оптимізації місць встановлення та ємності промислових накопичувачів електроенергії в розподільних мережах;
- адаптація методу «економічного струморозподілу» в електричних мережах до завдань оптимізації розміщення та ємності промислових накопичувачів електроенергії, шляхом вдосконалення алгоритмів визначення та коректування економічних опорів, для зазначених електроустановок;
- розробка алгоритму оптимізації розміщення засобів промислового накопичення електроенергії в розподільних мережах за критерієм максимальної рентабельності.

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка впливу ПНЕ на розподільні електричні мережі.

Предметом дослідження є методи і засоби інтеграції ПНЕ в розподільні електричні мережі.

Методи дослідження. Для моделювання та розв'язування задач використано метод «економічно струморозподілу». При формуванні моделі дослідження використовувався принцип найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського.

Наукова новизна отриманих результатів. Наведено доцільність використання принципу найменшої дії, зокрема методу «ідеального струморозподілу», для визначення оптимальних місць підключення та потужності промислового накопичувача електроенергії в розподільних мережах.

Практичне значення отриманих результатів. На основі адаптованого методу оптимізації потужності та точок підключення промислового накопичувача електроенергії в розподільних мережах розроблено алгоритм, який враховує обмеження якості напруги, що дозволяє обґрунтовано розташовувати ПНЕ в розподільних мережах.

Особистий внесок. Усі результати, що складають основний зміст магістерської кваліфікаційної роботи, отримані автором самостійно.

Апробація результатів роботи. ІІ Наукова-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету НТКП ВНТУ (2022).

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Електростанції традиційно використовуються для підтримки стабільної роботи розподільних мереж. Однак, збільшення та використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) вплинуло на систему роботи електромережі. Переривчаста робота ВДЕ збільшує невизначеність існуючих мереж і створює технічні та експлуатаційні проблеми. Високий рівень проникнення, насамперед у мережах передачі, може суттєво змінити основну енергосистему через переривчасте виробництво та може вплинути на баланс попиту та генерації, що призведе до небажаних коливань частоти. З іншого боку, подача активної потужності від ВДЕ до розподільної мережі може призвести до технічних проблем, таких як порушення напруги, коливання потужності та перевантаження мережі. Традиційні електростанції будуть поступово виводитись з експлуатації, через зростання інтеграції централізованих і розподілених ВДЕ, що зменшує загальну потужність звичайних електростанцій для надання допоміжних послуг.

Системи накопичення енергії (СНЕ) здатні надавати різноманітні розподілені допоміжні послуги та служити в якості резерву. Інтеграція промислових накопичувачів електроенергії (ПНЕ) в активні розподільчі мережі пов'язана із зростаючим проникненням ВДЕ та майбутнім виведенням з експлуатації традиційних електростанцій. Споживання електроенергії в розподільних електричних мережах непостійне, а коливається в залежності від клімату та часу доби. Для згладжування піків навантаження використовують СНЕ. Вони здійснюють багаторазове накопичення і повернення електроенергії в мережу. Окрім того, СНЕ служать для підвищення якості електропостачання,

як самих мереж так і споживачів, що живляться від них, а також забезпечують енергозберігаючі режими роботи системи в цілому. Існує декілька типів таких пристроїв, але найбільш популярними за своїми техніко-економічними показниками є ті, що побудовані на основі електрохімічних акумуляторів.

Промислові накопичувачі енергії (ПНЕ) можуть використовувати різні технології акумуляторів, такі як літій-іонні, свинцево-кислотні та нікель-кадмієві. Окрім того, кожен тип акумулятора має технічні параметри, які визначають його застосування та впливають на ефективність зберігання енергії. Основними властивостями ПНЕ є його ємність, потужність, ефективність передачі даних, глибина розряду та термін служби. Ємність визначає кількість електроенергії, доступної в ПНЕ, або кількість електричного заряду, що зберігається в акумуляторі, атрибут потужності визначає, яку потужність може забезпечити накопичувач, або яку потужність може доставити ПНЕ, ефективність проходження в обидві сторони описує співвідношення енергія, що постачається акумулятором (під час розряду), до енергії, що виділяється під час циклу заряджання, глибина розряду вказує на відсоток енергії, що розряджається акумулятором, відносно його загальної ємності, тоді як термін служби, який визначається як кількість циклів заряду та розряду ПНЕ або кількість енергії, яку накопичувач може забезпечити протягом свого терміну служби (пропускна здатність) і безпеки, показує відповідність накопичувача вимогам безпеки. Незважаючи на те, що певні технології ПНЕ можуть бути надійними та зрілими, з очікуванням подальшого зниження витрат, економічні проблеми все ще заважають ПНЕ стати основним рішенням для допоміжних послуг в електромережах. Невідповідна стратегія диспетчеризації для ПНЕ також може призвести до проблем нестабільності, швидкої деградації та неекономічної експлуатації електромережі. Встановлення та експлуатація ПНЕ є ключем ефективного та дієвого рішення в підвищенні ефективності функціонування ОСР.

1.1. Компоненти системи накопичення електроенергії

Акумуляторна система: складається з акумуляторної батареї, яка з'єднує кілька елементів із відповідною напругою та ємністю; система управління акумулятором; система температурного управління батареї. Система управління акумулятором захищає комірки від шкідливої роботи з точки зору напруги, температури та струму, щоб досягти надійної та безпечної роботи, а також балансує різні стани заряду комірок у послідовному з'єднанні. Система температурного управління батареї контролює температуру комірок згідно з їхніми специфікаціями в термінах абсолютних значень і градієнтів температури.

Компонентами, необхідними для надійної роботи всієї системи, є контроль і моніторинг системи, система управління енергією і система управління температурою. Контроль і моніторинг системи є загальним (ІТ) моніторингом, який частково об'єднаний у загальну систему диспетчерського контролю та збору даних (SCADA), але також може включати блоки протипожежного захисту або сигналізації. Система управління енергією відповідає за контроль, управління та розподіл електроенергії системи. Термічний менеджмент системи контролює всі функції, пов'язані з опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням повітря системи утримання.

Силу електроніку можна згрупувати в блок перетворення, який перетворює потік електроенергії між мережею та накопичувачем, а також необхідні компоненти керування та моніторингу, блоки вимірювання напруги та управління температурою компонентів силової електроніки.

гідронасосів. Енергетична здатність залежить від кількості використаних електролітів, а також від ємності баків. Електроліти зберігаються в окремих резервуарах і за потреби закачуються в батарею. Ємність проточних батарей можна збільшити, використовуючи більші баки для зберігання електролітів.

Проточні батареї можна розділити на дві категорії: справжній окисно-відновний процес, коли всі хімічні речовини, активні для зберігання енергії, повністю розчинені в розчині (ванадій/ванадій, залізо/хром); гібридний окислювально-відновний процес, де принаймні одна хімічна речовина наноситься як тверда речовина (цинк) в електрохімічні елементи під час заряджання (цинк/бром, цинк/хлор).

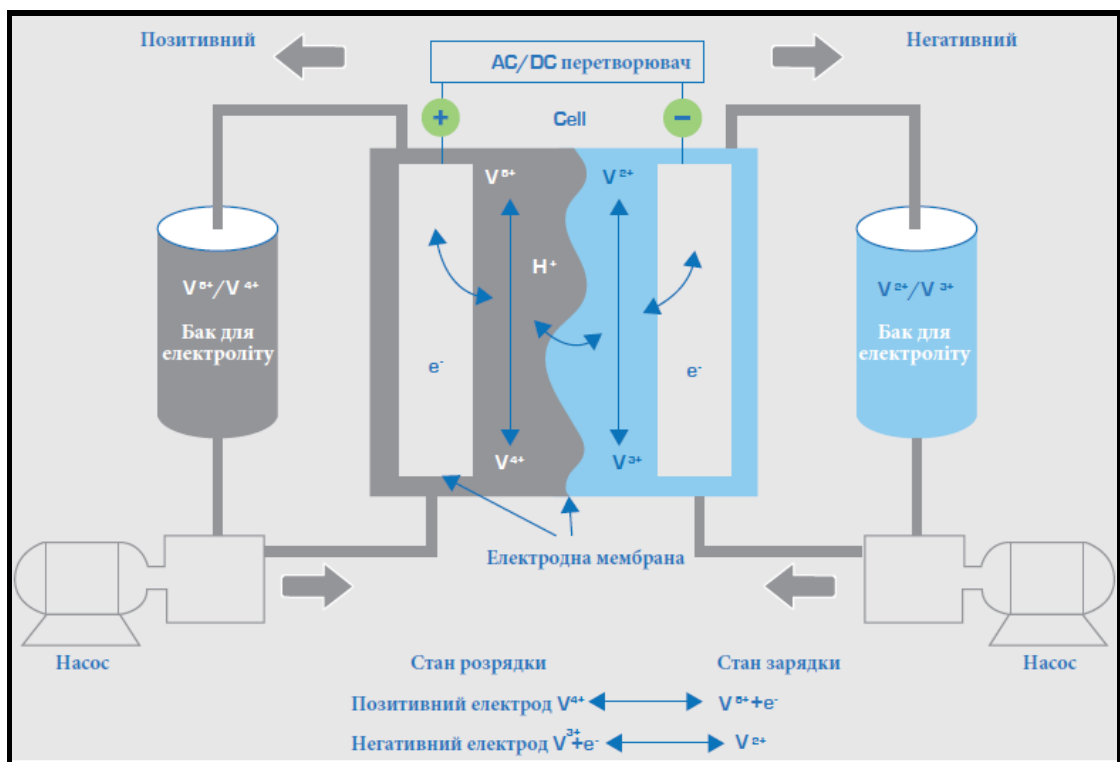


Рисунок 1 - Принцип роботи проточної батареї

Проточні батареї розробляються з 1970 року. У США, NASA почало розробляти ці батареї на початку 70-х років і з тих пір розробило різні хімічні речовини. Протягом 1980-х років кілька прототипів було розроблено в основному в Університеті Нового Південного Уельсу, а протягом 1990-х років

кілька прототипів систем були випробувані в діапазоні кількох кВт, зокрема азійськими компаніями, які встановлювали та тестували такі системи. Побудовані та експлуатуються установки потужністю до 200 кВт та 800 кВт*год.

Одним з основних факторів вартості є катіонообмінна мембрана. Тривають дослідження для розробки економічно ефективних нових мембран, а також для вивчення нових окисно-відновних пар. Більшість розробок проточних батарей здійснюється в Азії (Японія та Китай), Австралії та США. У Європі розвиток триває, проточні батареї доступні в класах 10 кВт і 200 кВт.

Проточні батареї пропонують більшу гнучкість для незалежного регулювання потужності та споживання енергії для конкретного застосування, ніж інші технології, коли мова йде про накопичення енергії. Незважаючи на це, відносно низька щільність енергії ванадієвого електроліту вимагає великих резервуарів для зберігання.

1.2.2. Акумуляторна система Metal-Air

Акумуляторна система метал-повітря (M-Air) - це система зберігання енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним «повітряним електродом» (катод) і негативним «металевим електродом» (анод). Негативний електрод зазвичай виготовляється з таких металів, як Li, Zn, Al, Fe або Na, тоді як позитивний зазвичай містить певну форму пористого вуглецевого матеріалу та каталізатор. Електроліт може мати водний або неводний характер.

Акумуляторні системи M-Air мають найвищий потенціал щільності енергії (Вт·год/кг) і спонукають до проведення багатьох науково-дослідних робіт у всьому світі. Деякі первинні батареї M-Air вже розроблені та продаються. Zn-Air був комерційно доступним протягом десятиліть для споживачів (наприклад, слухові апарати) і промислове застосування.

Розробка електричних акумуляторних батарей M-Air є привабливою метою, хоча вона ще не повністю доведена. Інші альтернативи, такі як механічна переробка, також досліджуються, або шляхом прямої заміни металевих анодів у формі суцільних листів, або шляхом регенерації багатой металом анодної суспензії, яка циркулює через комірку через насосну систему.

Завдяки високій масштабованості та щільності енергії батареї M-Air можуть використовуватися в багатьох сферах застосування:

1. Широкомасштабні стаціонарні програми зберігання енергії, переважно в поєднанні з ВЕС або СЕС, щоб компенсувати переривчастий характер цих відновлюваних джерел енергії.
2. Транспорт: завдяки високій щільності енергії батареї M-Air підвищують автономність сучасних електромобілів.
3. Відновлювана генерація: функції згладжування та формування, пов'язані з підтримкою напруги та частоти краща інтеграція ВДЕ в енергосистему.

Сьогодні технологія M-Air розглядається як одна з альтернатив і наступників літій-іонної батареї, особливо в автомобільній промисловості. Деякі стартапи та компанії в Ізраїлі та США розробили прототипи продуктів.

1.2.3. Нікель-кадмієвий акумулятор

Нікель-кадмієва (NiCd) батарея – це система накопичення енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним електродом (катодом), який містить гідроксид-оксиду нікелю, як активний матеріал, і негативним електродом (анодом), який виготовлений з металевого кадмію.

Електроди розділені мембраною, яка забезпечує потік електронів та іонів між ними, і занурені в електроліт, який складається з водного гідроксиду калію і не зазнає значних змін під час роботи.

Під час розряду оксид-гідроксид нікелю поєднується з водою, утворюючи гідроксид нікелю та гідроксид-іон. На негативному електроді утворюється

гідроксид кадмію. Для того, щоб зарядити акумулятор, процес можна виконати у зворотному порядку.

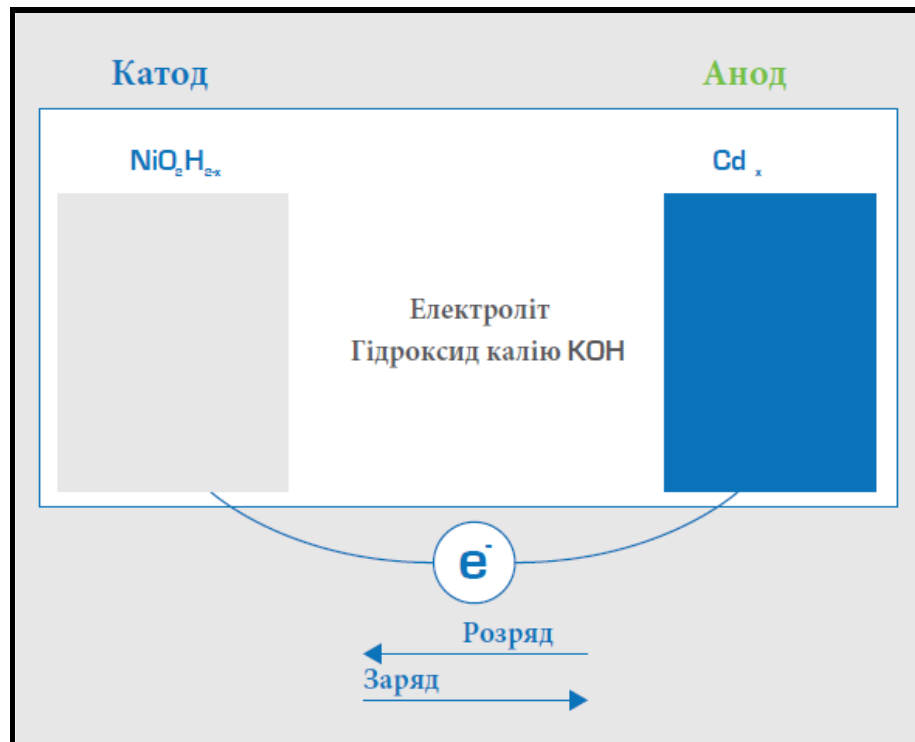


Рисунок 2 - Принцип роботи NiCd батареї

Нікель-кадмієві батареї ідеально підходять для захисту якості електроенергії від провалів напруги та забезпечення живлення в режимі очікування в суворих умовах. Останнім часом нікель-кадмієві батареї стали популярними як накопичувачі для сонячної генерації, оскільки вони можуть витримувати високі температури. Технологія Ni-Cd конкурує з іншими технологіями, такими як Ni-MH або Li-ion, і не очікується подальшого розвитку. Технології переробки та схеми збору налагоджені та працюють.

Завдяки своїй міцності та низьким вимогам до обслуговування технологія Ni-Cd використовується в дуже суворих умовах (низька температура, висока температура, вологість). Однак сильний запит на покращення продуктивності (енергія та потужність) спонукав до переходу на інші технології, такі як Ni-MH або Li-ion.

1.2.4. Нікель-металгідридний акумулятор

Нікель-метал-гідридна (NiMH) акумуляторна система – це система накопичення енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним електродом (катодом), який містить оксид-гідроксид нікелю, як активний матеріал і негативним електродом (анодом), який складається зі сплаву, що поглинає водень. Електроди розділені мембраною, яка забезпечує потік електронів та іонів між ними, і занурені в електроліт, що складається з водного гідроксиду калію, який не зазнає значних змін під час роботи.

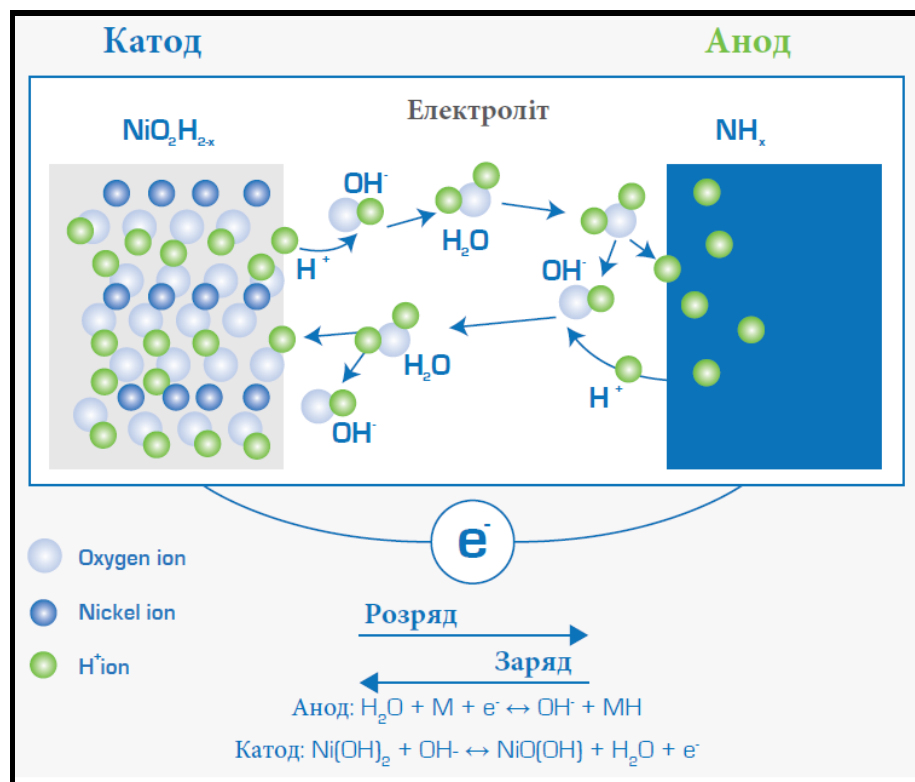


Рисунок 3 - Принцип роботи NiMH акумулятора

У сфері невеликих акумуляторів технологія NiMH колись замінила технологію Ni-Cd для багатьох застосувань, але зараз сама замінюється технологією Li-Ion. Технологія NiMH була еталонною технологією для

гібридних автомобілів, але зараз вона замінена технологією Li-Ion акумуляторів.

1.2.5. Свинцево-кислотний акумулятор

Свинцево-кислотний акумулятор або свинцево-кислотна акумуляторна батарея це система зберігання енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним електродом, який містить діоксид свинцю (PbO_2), і негативним електродом, який містить свинець (Pb). Обидва електроди занурені у водний електроліт сірчаної кислоти, який бере участь у реакціях заряду/розряду.

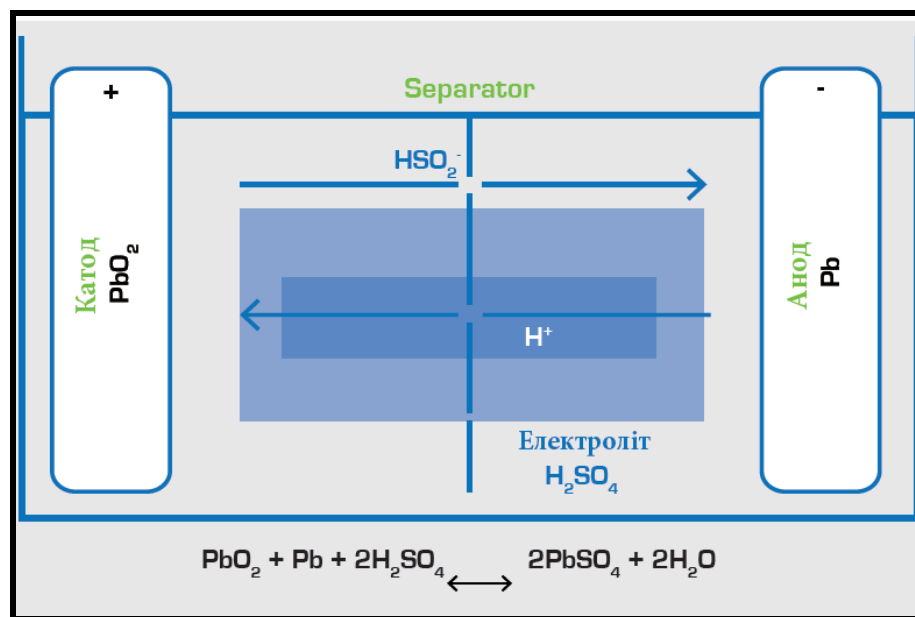


Рисунок 4 - Свинцево-кислотний акумулятор принцип роботи

Незважаючи на те, що технологія свинцево-кислотних акумуляторів використовується вже багато років, вона все ще має великий потенціал. Питома потужність покращується за допомогою вдосконалених добавок до активних матеріалів і конструкцій із меншим опором. Подальше зниження витрат досягається за рахунок автоматизації та вдосконалення процесів. Тривалість циклу буде збільшено за рахунок удосконалень конструкції, таких як

нещодавно вдосконалені корозійностійкі сплави та інтелектуальне керування батареєю (включно з новими стратегіями заряджання).

Свинцево-кислотні батареї можуть бути інтегровані в гібридні системи в поєднанні з іншими технологіями накопичення високої потужності, щоб максимізувати переваги та мінімізувати витрати.

1.2.6. Літій-іонний акумулятор

Літій-іонна (Li-Ion) акумуляторна система – це система накопичення енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним електродом (катодом), який містить деяку кількість літійованого оксиду металу, і негативним електродом (анодом), виготовленим із вуглецевого матеріалу або інтеркаляційні сполуки. Електроди розділені пористими полімерними матеріалами, що дозволяє електронам і іонам протікати між ними, і занурені в електроліт, що складається з солей літію (наприклад, LiPF_6), розчинених в органічних рідинах.

Коли батарея заряджається, атоми літію в катоді стають і мігрують через електроліт до вугільного анода, де вони поєднуються з зовнішніми електронами та осідають між шарами вуглецю у вигляді атомів літію. Цей процес відбувається протилежно під час розряду.

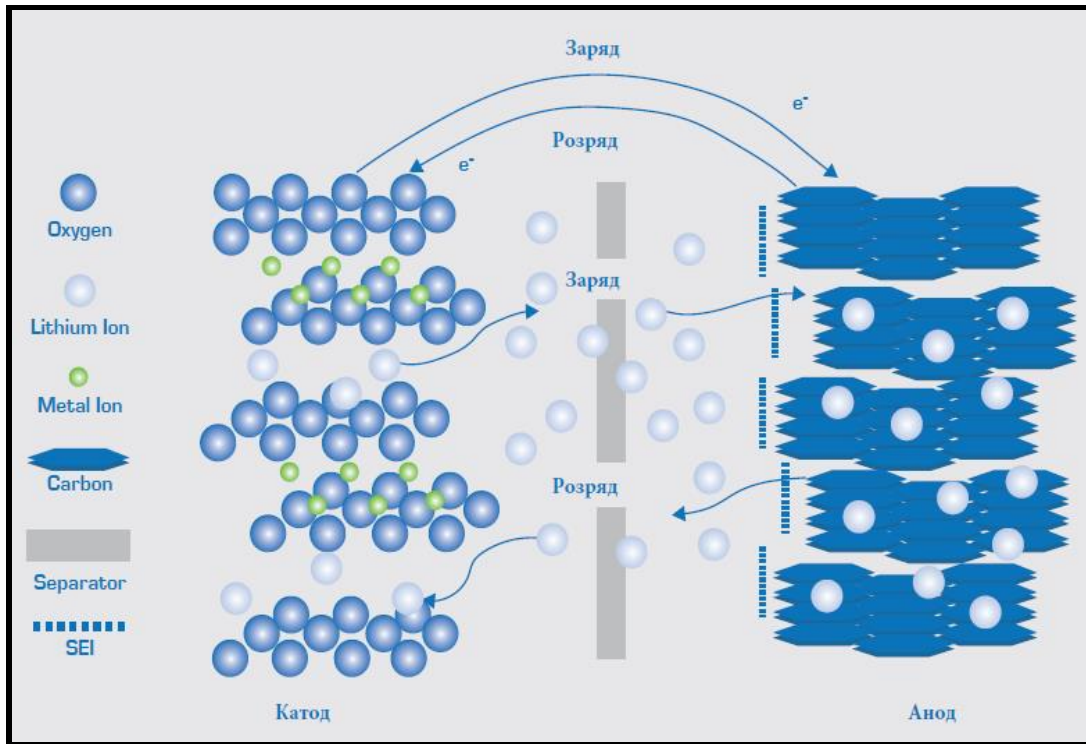


Рисунок 5 - Принцип заряду літій-іонного акумулятора

Літій-іонні батареї, які почали комерціалізувати з початку 1990-х років, захопили 50% ринку невеликих стільникових телефонів лише за кілька років, але є певні труднощі зі створенням літій-іонних батарей великого масштабу. Виробники працюють над зниженням вартості літій-іонних акумуляторів, які, як очікується, продовжуватимуть падати через бум на ринку автомобілів і накопичувачів енергії.

Використання літій-іонних акумуляторів у стаціонарному секторі значно зросло з 2010 року завдяки великому досвіду, накопиченому в розробці акумуляторів для електричних і гібридних транспортних засобів. У 2015 році понад 500 МВт стаціонарних літій-іонних акумуляторів працювали в мережевих установках по всьому світу. Системи розроблено та успішно випробувано в поєднанні з ВДЕ від кількох кВт до кількох МВт, а також для підтримки напруги мережі.

Технологічні вдосконалення ще більше збільшать щільність енергії, цикл і календарний термін служби. Нарощування промислових потужностей для

масового виробництва комірок і батарей промислового розміру (за рахунок автомобільного виробництва, накопичувачів енергії та інших масових ринків) має на меті знизити витрати на систему в майбутньому. Збільшення обсягу ринку сприятиме більшій диференціації системних рішень для різних сфер застосування, а також потужній інтеграції ПНЕ на Li-Ion технології.

Європа є одним із провідних континентів у використанні літій-іонних акумуляторів у різних сферах застосування, включаючи стаціонарні накопичувачі енергії, залізничний, морський, вантажний і автомобільний транспорт. Зокрема, на ринку зберігання енергії провідними країнами для розгортання літій-іонних батарей є: Італія для підтримки мереж, Німеччина для власного споживання та Франція для острівних мереж. Більшість постачальників літій-іонних акумуляторів походять з Кореї, Китаю та Японії.

1.2.7. Літій-сірчаний акумулятор

Літій-сірчана (Li-S) акумуляторна система - це система зберігання енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між електродом на основі сірки (катодом) і негативним електродом (анодом), зазвичай виготовленим із металевого літію. Іони літію видаляються з анода під час розряду і утворюють ліполісульфіди на катоді. Li_2S в катоді є результатом повного розряду. Під час перезарядки іони літію повертаються до анода, коли Li_2S_x рухається до S_8 . Полісульфіди літію високого порядку (Li_2S_3 до Li_2S_8) розчиняються в електроліті та мігрують до анода.

Ця технологія вважається однією із кандидатів на заміну літій-іонній технології у найближчі (5-10) років завдяки наступним перевагам:

- Вища щільність енергії: від 350 Вт/кг до 500 Вт/кг у майбутньому.
- Очікується, що використання недорогих матеріалів забезпечить загальну дешевшу технологію порівняно з Li-Ion.

1.2.8. Літій-метал-полімерний акумулятор

Літій-метал-полімерна батарея (LMP) - це система зберігання енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним електродом (катодом) на основі інтеркаляційної сполуки оксиду металу та негативним електродом (анодом), зазвичай виготовленим із металевого літію.

Незважаючи на те, що основні розробки зосереджені на покращенні продуктивності, пов'язаної з транспортною галуззю, очікується, що технологія також буде використовуватися в області накопичення енергії. LMP призначена для різноманітних кінцевих користувачів, серед яких: споживачі електроенергії (фізичні особи, компанії та ін.) та учасники електричних мереж. Технологія LMP добре підходить для електромобілів і розроблений лише одним європейським гравцем: Batscap.

1.2.9. Натрій-іонний акумулятор

Натрій-іонна (Na-Ion) акумуляторна система - це система зберігання енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним електродом (катодом), що складається з шаруватих матеріалів, що містять натрій, і негативним електродом (анодом), який зазвичай складається з твердого вуглецю або інтеркаляційної сполуки.

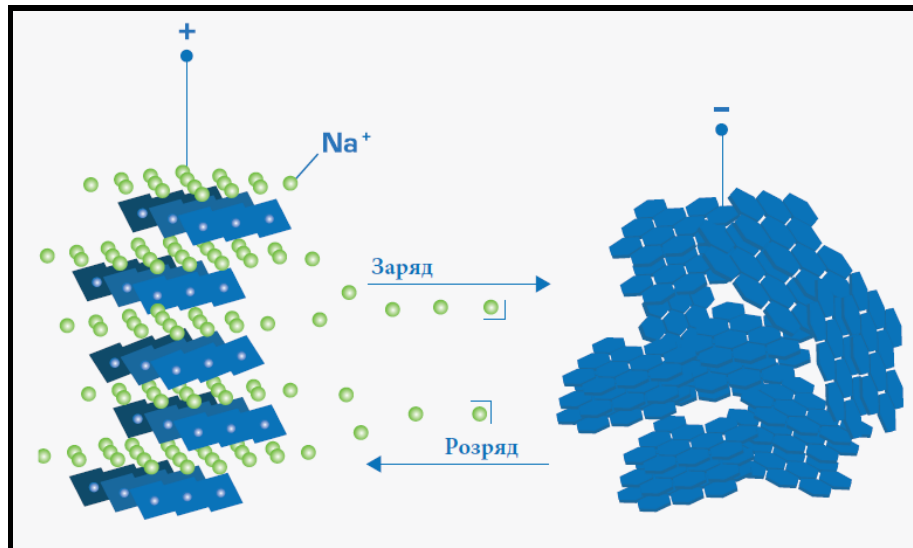


Рисунок 6 - Принцип заряду Na-Ion акумулятора

Електроди розділені пористим матеріалом, який забезпечує потік іонів між ними, і занурені в електроліт, який може бути водним розчином (наприклад, розчин Na_2SO_4) або неводним розчином (наприклад, сіль в пропіленкарбонаті). Коли батарея заряджається, атоми Na в катоді вивільняють електрони в зовнішній контур і стають іонами, які мігрують через електроліт до анода, де вони поєднуються з електронами із зовнішнього контуру, реагуючи з шаруватим матеріалом анода. Цей процес відбувається в протилежному порядку під час розряду.

Na-Ion батареї все ще знаходяться на стадії розробки, але нещодавно були визначені як потенційне ключове рішення для СНЕ.

1.2.10. Натрій-нікель-хлоридний акумулятор

Натрієво-нікель-хлоридна (Na-NiCl_2) батарея - це система накопичення енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним електродом (катодом), що складається переважно з нікелю (Ni) і хлориду натрію (NaCl), і негативним електродом (анодом), який зазвичай складається з натрію (Na). Електроди розділені керамічною стінкою з бета-оксиду алюмінію, який є провідником для іонів

натрію, але є ізолятором для електронів. Ця бета-глиноземна кераміка діє як електроліт і забезпечує провідність іонів натрію між анодом і катодом елементів. Температура батареї підтримується між 270°C і 350°C, щоб електроди залишалися в розплавленому стані, тобто незалежні нагрівачі є частиною системи батареї.

Технологія Na-NiCl₂ була представлена на ринку протягом останнього десятиліття для електромобілів, головним чином для громадського транспорту, сьогодні доступний більш широкий асортимент продукції для стаціонарного резервного живлення, резервного живлення залізниці, електромобілів і мережевого/немережевого накопичувача електроенергії. Ємність однієї батареї варіюється від 4 до 25 кВт*год, підходить для широкого спектру застосувань. Завдяки керамічному електроліту акумулятор не має електрохімічного саморозряду. Залежно від умов експлуатації тепловтрати компенсуються внутрішніми електричними втратами, які перетворюються в тепло, так що загальний ККД знаходиться в межах 80-95%.

На відміну від інших типів високотемпературних батарей, Na-NiCl₂ акумулятори мають невід'ємні можливості перезарядження та нижчі робочі температури. Крім того, на відміну від інших акумуляторів, вони можуть мати гнучке співвідношення потужності та енергії та можуть охолоджуватися до температури навколишнього середовища без пошкодження компонентів.

Натрій-нікель-хлорид (Na-NiCl₂) - це високотемпературні акумулятори, які гарантують високу продуктивність і довговічність незалежно від температури навколишнього середовища. Під час роботи, навіть якщо зовнішня температура навколишнього середовища сильно змінюється, внутрішня температура акумуляторного модуля залишатиметься в межах діапазону робочих температур і не впливатиме на його ємність і термін служби. І розрядка, і зарядка здійснюються незалежно від зовнішньої температури, навіть у найсуворіших теплових умовах. Завдяки високій масштабованості та гнучкості у виготовленні акумулятори Na-NiCl₂ широко застосовуються:

1. Житлові та комерційні зони: максимізація власного споживання фотоелектричної енергії, джерела безперебійного живлення, збільшення потужності.
2. Розподільні мережі: зменшення піків навантаження, покращення інтеграції ВДЕ, підтримка розумного управління мережею.
3. Оптимізація генерації ВДЕ.
4. Мережі передачі: регулювання частоти мережі.

1.2.11. Натрій-сірчаний акумулятор

Натрій-сірчаний акумулятор (NaS) - це система накопичення енергії, заснована на електрохімічних реакціях заряду/розряду, які відбуваються між позитивним електродом (катодом), який зазвичай складається з розплавленої сірки (S) і негативним електродом (анодом), який зазвичай складається з розплавленого натрію (Na). Електроди розділені твердою керамікою, бета-глиноземом натрію, яка також служить електролітом. Ця кераміка пропускає лише позитивно заряджені іони натрію. Температура батареї підтримується в діапазоні від 300°C до 360°C, щоб підтримувати електроди в розплавленому стані, тобто незалежні нагрівачі є частиною системи батареї.

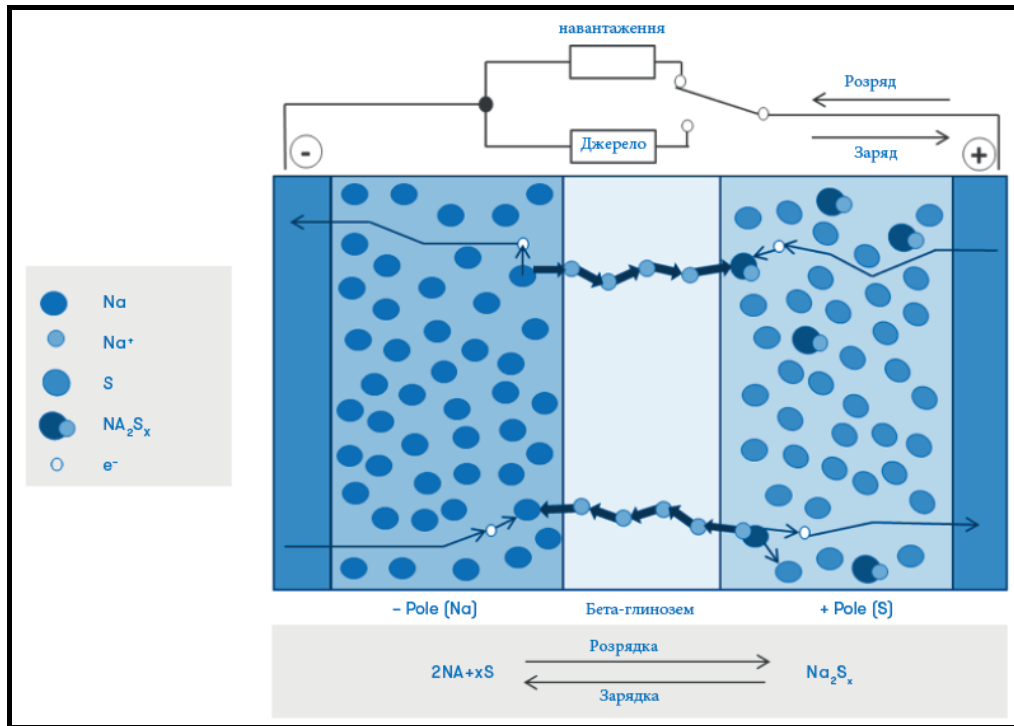


Рисунок 7 - Принцип заряду NaS акумулятора

З 1990 року батареї NaS виробляються в Японії. Двадцять модулів, як правило, 50 кВт і від 300 до 360 кВт*год, об'єднані в одну батарею, в результаті чого мінімальна комерційна потужність і діапазон енергії становлять близько 1 МВт і 6-7 МВт*год. Мінімальна комерційна потужність і діапазон енергії становлять 200 кВт і 1,2 МВт-год відповідно. Найбільша у світі установка NaS почала роботу в березні 2016 року: система потужністю 50 МВт/300 МВт*год встановлена в Бузен-Сіті, Фукуока, Японія для зниження пікових навантажень і балансування СЕС. Іншими проектами є система потужністю 35 МВт, замовлена Терна в Італії в 2015 році, і систему потужністю 108 МВт в Абу-Дабі.

Через робочу температуру та високу корозійну природу полісульфідів натрію NaS акумулятори в першу чергу підходять для великомасштабних немобільних застосувань, таких як мережеві накопичувачі електроенергії.

1.3. Допоміжні послуги в розподільних мережах

Різна термінологія використовується для класифікації типів допоміжних послуг. Допоміжні послуги для розподільних мереж можна розділити на короткострокові та довгострокові застосування.

Короткострокові послуги підтримки відомі як послуги швидкого реагування, які в основному зосереджені на компенсації дисбалансу попиту та генерації. ПНЕ можна розгорнути для підвищення продуктивності мережі, забезпечуючи стабільну, надійну та надійну роботу мережі.

Довгострокові допоміжні послуги також відомі як «масова енергія», яка спрямована на зберігання та використання великої кількості енергії для забезпечення ефективної та економічної роботи енергосистеми. ПНЕ у мережах передачі та розподілу експлуатуються протягом тривалого періоду часу для допоміжної підтримки для підвищення ефективності системи та зниження витрат на виробництво та доставку електроенергії.

1.3.1. Підтримка напруги

Традиційні мережі розподілу електроенергії були розроблені з урахуванням односпрямованого потоку електроенергії, як правило, від трансформаторів високої або середньої напруги до кінцевих користувачів, підключених через розподільні лінії. Поява ВДЕ спричинила двонаправлений потік електроенергії в розподільчих мережах, що призвело до проблем з напругою в мережі. Переривчасті ВДЕ, підключені до електромереж, повинні відповідати вимогам і стандартам напруги, щоб гарантувати, що номінальна напруга мережі працює в межах.

Традиційні рішення, запропоновані для подолання проблем напруги в розподільних мережах:

1. Обмеження потужності для зменшення дисбалансу між попитом і генерацією є традиційним підходом до пом'якшення перенапруги, але воно обмежує максимальне використання ВДЕ.
2. Забезпечення підтримки реактивної потужності за допомогою фотоелектричних перетворювачів, встановлення датчиків і регуляторів напруги, налаштування вимикачів під навантаженням або навіть зміна конфігурації мережі.

Незважаючи на те, що традиційні підходи можуть ефективно пом'якшити проблеми з напругою, вони призводять до збільшення втрат у мережі.

Останні досягнення в ПНЕ та їх гнучкість забезпечують перспективне та найефективніше рішення для підтримки напруги в активних розподільних мережах. ПНЕ може діяти як навантаження та генератор і може миттєво вмикатися та вимикатися. ПНЕ можуть бути використані для споживання надлишкової генерації з відновлюваних джерел у години пік генерації та зменшення проблем перенапруги в мережі. Подібним чином вони можуть діяти як генератор у години пікового навантаження, щоб зменшити проблеми із зниженою напругою. Виробництво від фотоелектричних установок перевищує попит на навантаження між 08:00 і 14:00, створюючи надмірний зворотний потік електроенергії на підстанції та викликаючи проблеми з перенапругою. Так само пікове навантаження з 19:00 до 21:00 викликає проблеми з напругою. ПНЕ заряджається та розряджається відповідно, щоб зменшити проблеми перенапруги та низької напруги відповідно.

1.3.2. Регулювання частоти

Стабільність частоти описується як «здатність енергосистеми підтримувати постійну частоту після серйозного збою системи, що призводить до значного дисбалансу між генерацією та навантаженням». Щоб гарантувати, що варіація частоти знаходиться в заданих межах, важливо негайно збалансувати будь-які відмінності між попитом і генерацією. Якщо кількість виробленої

електроенергії не відповідає фактичному попиту на електроенергію, частота може або перевищити, або впасти нижче свого номінального значення. Нездатність підтримувати частоту в прийнятних межах, такі розбіжності можуть призвести до тимчасових знеструмлень, збоїв у електроживленні або знеструмлення. ПНЕ має гнучкі та швидкі характеристики реагування, які можуть збалансувати попит і генерацію шляхом споживання або виробництва електроенергії на основі вимог мережі.

1.3.3. Управління перевантаженням

Управління перевантаженнями в розподільних мережах стосується зменшення перевантаження обладнання розподільних мереж. У зв'язку з останнім збільшенням розподілених енергетичних ресурсів, перевантаження в розподільних мережах стало серйозною технічною проблемою, яка призводить до проблем стабільності та безпеки, неекономічної роботи мережі, пошкодження мережевого обладнання або навіть збою мережі, якщо її не вирішити вчасно. Традиційні рішення для пом'якшення перевантажень у розподільчих мережах включають конфігурацію мережі, використання компенсуючих пристроїв, керування перемиканням під навантаженням або перепланування навантаження, а також генеруючі установки. ПНЕ, за належного управління, може бути найбільш перспективним і ефективним рішенням для управління проблемами перевантаження в розподільних мережах.

1.3.4. Управління піковим навантаженням і балансування навантаження

Пікове навантаження відбувається лише протягом невеликої частини часу протягом дня і не часто збігається з піком генерації. Традиційний підхід полягає у встановленні додаткових генераторних установок для задоволення пікового навантаження, відомий як метод збільшення. Такий підхід не є економічним рішенням, оскільки ОСР потрібно лише встановлювати та

експлуатувати додаткові генеруючі установки протягом кількох годин на день. Це також призводить до збільшення викидів вуглецю та швидкої деградації мережевого обладнання.

Скидання пікового навантаження - це процес вирівнювання кривої навантаження шляхом зменшення пікового навантаження та переходу до періоду поза піковим навантаженням. Характеристики промислового накопичувача електроенергії (ПНЕ) роблять його перспективним рішенням для зниження пікових навантажень в електромережах, де ПНЕ можна заряджати в період непікового навантаження (низький попит) і розряджати в період пік (високий попит).

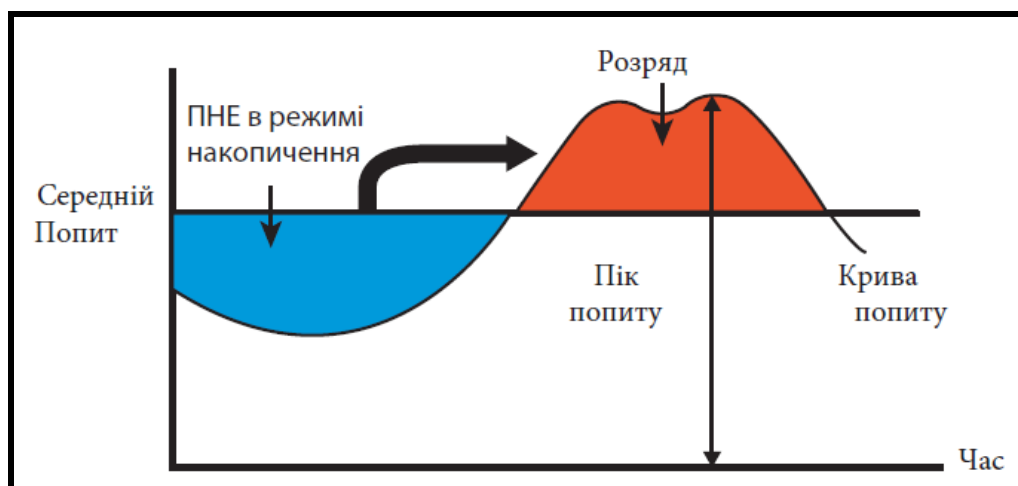


Рисунок 8 - Використання ПНЕ для зменшення пікових навантажень

Балансування навантаження, з іншого боку, відноситься до процесу переміщення попиту з годин піку до годин поза піком. Вирівнювання навантаження можна досягти шляхом запровадження тарифів за часом використання, що стимулюватиме споживачів переносити споживання на години доби, коли тарифи низькі. ПНЕ за лічильником дозволяє балансувати навантаження (з точки зору комунального підприємства) без будь-яких змін у профілі навантаження споживача.

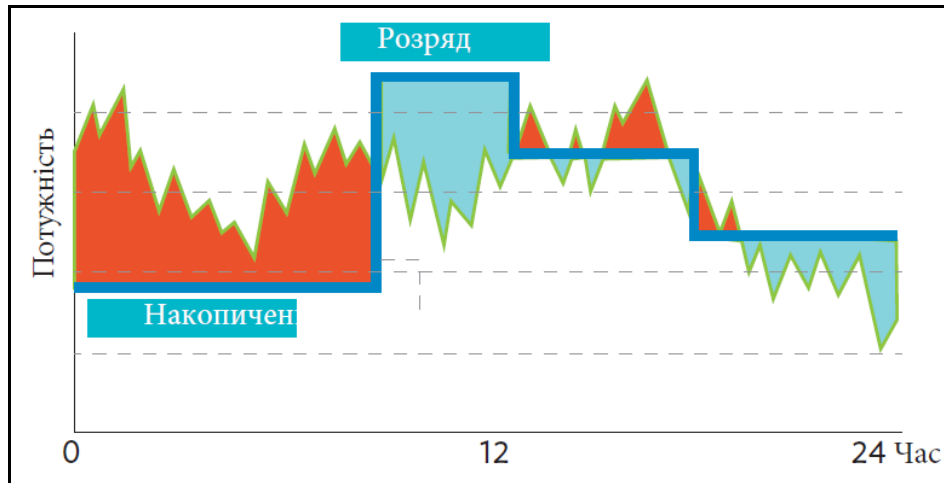


Рисунок 9 - Використання ПНЕ для вирівнювання навантаження

1.3.5. Зсув енергії в часі. Арбітраж

Ціни на електроенергію коливаються в різний час, бувають як підвищення, так і падіння. СНЕ дозволяють зміщувати енергію в часі, енергія купується за низькою ціною в періоди непікового навантаження та продається або використовується, коли ціна зростає. Таким чином, незалежно від сезону та попиту на електроенергію, ПНЕ можуть вирівняти ціни на електроенергію та мінімізувати ризики.

1.3.6. Резервне джерело живлення

ПНЕ може забезпечити резервне живлення у разі збою в електромережі до повного відновлення електропостачання. Більша ємність накопичувача та інтеграція з ВДЕ дозволяють ПНЕ зберігати енергію протягом більш тривалого періоду часу. Діючи як джерело безперебійного живлення, комерційне рішення для зберігання акумуляторів може заощадити час і гроші, усуваючи простой.

1.3.7. «Чорний запуск»

Здатність електромережі відновлювати свій робочий стан після вимкнення через несправності відома як «чорний запуск». В енергосистемі

будь-яке джерело аварійного пуску повинно мати здатність самостійно запускатися, подавати необхідну потужність до блоків без аварійного пуску та негайно забезпечувати підтримку для стабілізації напруги мережі та частоти. У новітній літературі ПНЕ є ідеальним і широко прийнятим рішенням для аварійного пуску в електромережах завдяки його можливостям регулювання активної та реактивної потужності на основі перетворювача напруги.

1.3.8. Інтеграція відновлюваних джерел енергії

Очікується, що енергетичні системи майбутнього будуть значною мірою залежати від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), таких як вітер і сонце. Однак мінливість і періодичність виробництва сонячної фотоелектричної та вітрової енергії створює проблеми. Ця переривчастість може вплинути на стабільність і надійність електромереж та може призвести до технічних проблем, таких як коливання напруги, що може вплинути на роботу пристроїв регулювання напруги. Оператори систем розподілу можуть мати проблеми зі стабільністю системи і можуть бути змушені обмежити подачу від ВДЕ, щоб уникнути перенапруги.

Найпоширенішими традиційними підходами до пом'якшення проблем згладжування потужності є експлуатація розподілених ВДЕ нижче межі максимальної точки потужності, або активне використання навантаження для мінімізації коливань вихідної потужності відновлюваної генерації. Хоча ці підходи можуть бути достатньо успішними для згладжування потужності, вони можуть збільшити втрати енергії, знизити ефективність ВДЕ і збільшити експлуатаційні витрати. Характеристики швидкого відгуку ПНЕ забезпечують потенційне рішення для згладжування потужності для сучасних електромереж із високим рівнем проникнення відновлюваної енергії, де ПНЕ можна розгорнути для роботи як енергетичний буфер (фільтр).

1.4. Економічний та фінансовий аналіз

Економічна та фінансова життєздатність проектів ПНЕ залежить від кількох факторів, які представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактори які впливають на розвиток проектів ПНЕ

Фактор	Вплив на життєздатність проекту
Вартість зберігання	Вартість ПНЕ, незважаючи на падіння, все ще є найважливішим фактором життєздатності проекту. Витрати залежать від співвідношення МВт/МВт·год накопичувача. Кінцева вартість наприкінці економічного життя проекту також має значення, причому вища кінцева вартість покращує економіку проекту.
Вартість армування мережі	Вищі витрати на зміцнення звичайної мережі підвищують цінність розгортання сховища як альтернативи, покращуючи економіку проекту (і навпаки) безпосередньо для ОСР та для проектів третіх сторін із контрактом на зменшення пікових навантажень з ОСР.
Комерційні послуги	Розширений доступ до надання комерційних послуг (наприклад, ринки допоміжних послуг, оптовий ринок, ринок потужності) і більша вартість від надання комерційних послуг збільшують потоки доходів проекту, покращуючи економіку проекту (і навпаки). Загальновизнано, що для підвищення економічної життєздатності проектів ПНЕ необхідно об'єднати потоки створення цінностей.
Розвиток політики	Усунення перешкод для зберігання або створення більш сприятливого середовища для інвестування підвищує вартість реалізації проекту, покращуючи економіку проекту (і навпаки).

Відповідно до керівних принципів економічного аналізу проектів, економічний аналіз проекту та фінансова оцінка передбачають визначення вигод і витрат проекту протягом років, у які вони відбуваються, і перетворення всіх майбутніх грошових потоків у їх поточну вартість за допомогою

дисконтування. Обидва аналізи генерують показники чистої приведеної вартості (NPV) і внутрішньої норми прибутку (IRR).

Однак точки зору та цілі двох аналізів відрізняються:

- Фінансова оцінка оцінює здатність проекту генерувати адекватні додаткові грошові потоки для відшкодування фінансових витрат (капітальних і поточних витрат) без зовнішньої підтримки.

- Економічний аналіз проекту (рис.10) визначає, чи є проект економічно життєздатним для країни.



Рисунок 10 - Структура економічного аналізу

При визначенні переваг проекту для економічного аналізу особливо важливими є дві відмінності:

- Перший полягає в тому, чи отримані вигоди від додаткового чи недодаткового виробництва.

- Друга відмінність полягає в тому, чи продається продукція проекту на ринках і чи існують ринкові ціни, які можна використовувати як відправну точку для оцінки переваг проекту.

1.5. Застосування технології накопичення електроенергії в світі

Щоб мотивувати ширше впровадження чистої енергії та зменшити викиди парникових газів, декілька країн і урядів запровадили політику зберігання енергії. Політика різних країн відрізняється, оскільки вона розроблена на основі відповідно до їхніх вимог та потреб. Наприклад, Австралія та Сполучені Штати запровадили політику підвищення стабільності енергетичних систем. Японія прагне забезпечити резервну енергію під час аварійних відключень через пошкодження від стихійних лих, Німеччина прийняла політику сприяння більшій інтеграції відновлюваної енергії в мережу, тоді як Південна Корея прагне зменшити піковий попит за рахунок більш широкого розгортання ПНЕ. Хоча всі політичні стратегії мають різний погляд на застосування технології накопичення електроенергії, вони не обмежуються однією конкретною сферою та працюють гнучко, щоб забезпечити підтримку допоміжних мереж.

1.5.1. США

Щоб збільшити та розвинути нові ринки для СНЕ у Сполучених Штатах, як федеральний уряд, так і уряди штатів заохочують політику, яка заохочує інвестиції, зниження податків, субсидійну допомогу та збільшення суспільного постачання. Основним внеском урядів штатів є заохочення ширшого впровадження СНЕ та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) шляхом розробки політики субсидій для нових установок ПНЕ та ВДЕ. На відміну від цього, мета федерального уряду полягає в сприянні інвестиціям у бізнес. Нижче наведено список найпоширеніших політик СНЕ і внесків уряду США.

1. Розділ законодавства допоміг закону США про енергетичні інновації дозволити 5-річний фонд 1,4 мільярда доларів США на дослідження та розробки СНЕ.
2. Законопроект про ферми (2019) надав фінансову підтримку програмам, які проводить Міністерство сільського господарства для просування установок ПНЕ на фермах і малих підприємствах у сільських громадах.
3. У 2018 році Агентство передових дослідницьких проектів надало довгострокове фінансування енергетичних інновацій для підтримки розробки технологій, які можуть використовувати СНЕ для живлення мережі США протягом 100 годин .
4. Законопроект про податкові стимули СНЕ був представлений у 2016 році, щоб забезпечити податкові стимули для СНЕ, які мають мінімальну потужність 5 кВт/год .
5. Податкова пільга на нерухоме житло забезпечує стимули для власників СНЕ з мінімальною потужністю 3 кВт/год.
6. Закон про зберігання 2013 року було введено для заохочення великомасштабних установок ПНЕ шляхом надання податкових пільг власникам і підприємствам .
7. Уряд штату Каліфорнія представив законопроект у 2010 році, щоб гарантувати, що комунальні підприємства штату вироблятимуть 1325 МВт накопиченої електроенергії до 2020 року.
8. Стандарт чистої енергії були прийняті в 2018 році, щоб гарантувати, що Массачусетс і Нью-Йорк встановлять 1000 МВт·год і 1500 МВт·год СНЕ до 2025 року відповідно.
9. Штат Нью-Джерсі прийняв закон у 2018 році, щоб забезпечити встановлення 2000 МВт СНЕ до 2030 року.

1.5.2. Європа. Європейський Союз

Європейський Союз (ЄС) робить значний внесок у виробництво чистої енергії в Європі, підтримуючи розвиток технологій відновлюваної енергії. Декілька європейських країн розробляють свою політику накопичення енергії, щоб уникнути перешкод, які перешкоджають розгортанню СНЕ. Цю політику запроваджено, щоб заохочувати встановлення ПНЕ високого рівня шляхом надання субсидій, стимулів і грантів на дослідження, а також для просування положень систем накопичення енергії, для підтримки допоміжної мережі в Європі.

Сполучене Королівство (Великобританія) не субсидує безпосередньо розгортання систем накопичення енергії (СНЕ), оскільки вони вважають, що енергетичний сектор не повинен залежати від субсидій. Проте уряд надає значні кошти на дослідження та розробки для сприяння інноваціям у секторі. Банк Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) у Німеччині співпрацює з Федеральним міністерством економіки та енергетики, щоб запровадити низькі процентні субсидії та схему навантаження для зацікавлених покупців в СНЕ та відновлюваної енергії.

Інші європейські країни також мають нормативні акти щодо систем накопичення енергії. Однак декілька перешкод обмежують швидке впровадження СНЕ. Наприклад об'єкти ПНЕ не мають ділових інтересів у Нідерландах, оскільки уряд сприяє виключно виробленню енергії з відновлюваних джерел для досягнення цілей чистої енергії. Як наслідок, для систем накопичення енергії не було введено належної політики чи правил. Подібним чином прогресу у розгортанні ПНЕ в Італії заважає відсутність політики для його підтримки.

1.5.3. Австралія

Відповідно до Закону ARENA 2011 року Австралійське агентство з відновлюваної енергії (ARENA) було засновано в 2012 році для зменшення

витрат і збільшення використання відновлюваної енергії в Австралії. ARENA, яка зараз є основним механізмом підтримки розвитку СНЕ в Австралії, зробила значні інвестиції в технології зберігання акумуляторів, оскільки вони знають, що технологія СНЕ може допомогти агентству досягти своїх цілей і завдань.

У 2015 році уряд Південної Австралії розробив стратегію низьковуглецевого інвестиційного плану. Уряд зробив значні інвестиції в енергію з низьким вмістом вуглецю та вже досяг 52,1 відсотка проникнення відновлюваної енергії. У рамках цього проекту СНЕ буде використовуватися в основному для запобігання проблемам з якістю електроенергії та скороченням, які можуть виникнути через переривчастий характер відновлюваних джерел енергії. Крім того, міська рада Аделаїди була першим австралійським урядом, який надав прямі фінансові стимули для ПНЕ у поєднанні з сонячними фотоелектричними установками в 2015 році в рамках схеми стимулювання сталого розвитку міста. Схема запроваджена для власників бізнесу, приватних клієнтів, громадських організацій та навчальних закладів. Невдовзі після того, як програма розпочалась і її потенціал став очевидним, уряд Південної Кореї виділив кошти міській раді Аделаїди на будівництво ПНЕ ємністю 600 кВт/год. У жовтні 2018 року уряд Південної Австралії запустив програму “Home Battery Program”, щоб пропонувати субсидії побутовим споживачам, які встановлюють батареї разом із сонячними фотоелектричними системами на дахах. Щоб забезпечити необхідні послуги з підтримки електромережі, уряд Південної Кореї створив “Hornsedale Power Reserve”, найбільшу літій-іонну батарею у світі (100 МВт/129 МВт·год).

Концепція політики сталого енергетичного розвитку, запроваджена в 2011 році, підтримує амбітну мету “Australian Capital Territory’s” виробляти 100 відсотків своєї енергії з відновлюваних джерел до 2025 року. Уряд вважає, що технологія СНЕ важлива для досягнення деяких політичних цілей. Одна з урядових схем “Відновлювані джерела енергії наступного покоління” полегшила роботу 5000 сімей і компаній, встановивши 36 МВт ПНЕ між 2016 і

2020 роками. Іншою програмою, створеною для сприяння розвитку чистої економіки, є стратегія розвитку індустрії відновлюваної енергетики, яка спрямована на розвиток СНЕ та галузей відновлюваної енергетики в Australian Capital Territory's.

1.5.4. Азія

Деякі з країн Азії розробляють і вдосконалюють політику СНЕ щодо скорочення викидів парникових газів і збільшення виробництва чистої енергії. У 2012 році Міністерство торгівлі та промисловості запровадило проект, щоб просувати технології накопичення енергії в Японії. Міністерство торгівлі та промисловості надало підтримку політики та ринкових можливостей. У 2014 році уряд запустив четвертий стратегічний енергетичний план, спрямований на створення стійкого багаторівневого енергопостачання для забезпечення стабільності енергосистеми. Крім того, уряд Японії забезпечує одну третину загальних витрат на встановлення СНЕ за рахунок державних субсидій та інших відповідних програм. Вони спрямовані на те, щоб японська енергомережа була готова забезпечити швидке реагування, необхідне під час стихійного лиха та втрати великої генерації. Подібним чином уряд Китаю підтримує відповідну політику з 2005 року для досягнення цілей чистої енергії. Політика зосереджена на різноманітних сферах, які можуть просунутися та гарантувати швидкий розвиток СНЕ, включаючи розвиток ринку, управління операціями, пов'язаними з мережею, захист навколишнього середовища в моделях розвитку та фінансову допомогу.

1.6. Висновки до першого розділу

Отже, можна прийти до висновку, що зі збільшенням інтеграції відновлюваних джерел енергії в розподільну мережу традиційні підходи до допоміжної підтримки стали шкідливими для мережевого обладнання. Окрім

того, неузгоджена генерація розподілених ВДЕ може призвести до технічних проблем, таких як перенапруга, перевантаження та проблеми з якістю електроенергії.

Потрібно зазначити, що для забезпечення ефективного планування та експлуатації ПНЕ необхідний комплексний техніко-економічний аналіз, який повинен враховувати капітальні витрати, експлуатаційні витрати, вимоги до технічного обслуговування та ключові фактори, що впливають на старіння ПНЕ.

Нові стратегії контролю повинні включати безпеку та захист різних типів ПНЕ. Такі функції безпеки, як раннє попередження про несправності або схеми протипожежного захисту, можуть допомогти уникнути нещасних випадків і несправностей у робочому середовищі. Кращі системи керування можуть покращити продуктивність ПНЕ, термін служби та безпеку.

Для того, щоб власники ПНЕ знали про винагороду за участь у допоміжних послугах мережі розподілу, необхідні політики та правила між енергетичним і допоміжним ринками. Це також може збільшити кількість споживачів, які беруть участь у допоміжній підтримці розподільної мережі.

Відсутність ринкових можливостей є основною перешкодою, яка затримує розгортання проєктів СНЕ. Урядам і міністерствам енергетики необхідно якнайшвидше створити цінні ринкові можливості із ПНЕ, щоб замінити повільні та менш точні традиційні методи підтримки.

З широким впровадженням електромобілів у світі необхідно проаналізувати вплив мобільних, або динамічних акумуляторів електромобілів і знайти рішення на основі гібридних систем зберігання енергії для підтримки мережі.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ

Промислові накопичувачі електроенергії (ПНЕ) є особливо важливим інструментом, який ставатиме все більш поширеним та доступним, для інтеграції в розподільні електричні мережі. Підключення ПНЕ сприяє зниженню пікових навантажень на елементи мережі та покращенню якості напруги. Але визначення оптимальної потужності ПНЕ та місць їх підключення до мереж пов'язане з об'єктивними труднощами. Слід застосовувати комплексні критерії оптимальності та враховувати активні обмеження. Окрім того, тенденції розвитку розподільчих мереж та ціноутворення на енергоринку частково не визначені. Для отримання максимальної вигоди від роботи ПНЕ дуже важливо знайти оптимальне місце розташування ПНЕ в розподільній мережі.

Поряд із технічними перевагами використання промислових накопичувачів електроенергії, такими як покращена напруга та якість електроенергії, надійність комунальної системи, зниження витрат на електроенергію та звільнення від перевантаження розподілу, використання ПНЕ у неоптимальних місцях може призвести до зниження продуктивності мережі.

Через важливу роль, яку відіграють СНЕ, їхній розмір важливий для забезпечення належної роботи розподільних мереж. Як з точки зору економіки, так і з точки зору безпеки, точна і практична модель СНЕ покращить моделювання роботи енергосистеми. Оптимальний розмір ПНЕ передбачає пошук оптимальної потужності та енергетичної потужності для мінімізації

експлуатаційних витрат розподільчої мережі при досягненні цільових показників.

Оптимальний розмір промислового накопичувача електроенергії повинен бути визначений для розподільної мережі, оскільки великомасштабні ПНЕ несуть більші інвестиції та витрати на технічне обслуговування мережі, тоді як мало масштабні ПНЕ можуть не забезпечити бажаних економічних переваг і гнучкості, або відповідати заздалегідь визначеним цілям щодо надійності мережі. Оптимальний розмір ПНЕ для розподільної мережі повинен включати всі витрати, безпосередньо пов'язані з потребами мережі.

До прикладу, якщо ВДЕ інтегровані в розподільні мережі, необхідно включити постійні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування інтегрованих ВДЕ в розміри ПНЕ. Крім того, вибір ПНЕ для оптимального розміру та порівняння його з альтернативними ПНЕ з точки зору вартості та продуктивності може допомогти визначити відповідний варіант накопичувача, для встановлення.

2.1. Постановка оптимізаційної задачі

Завдання оптимізації ємності та вузлів з'єднання ПНЕ вирішувалося в наступній постановці. Для розподільчої мережі необхідно визначити оптимальні енергетичні потужності та точки приєднання ПНЕ, що забезпечить групове внутрішньодобове коригування графіків навантаження мережі. Ефективність отриманих рішень варто оцінювати рентабельністю капітальних вкладень R . Необхідно враховувати обмеження по відхиленню напруги на шинах підстанції, струмові навантаження ліній електропередачі та силових трансформаторів в електричних мереж розподілу, режими заряду та розряду ПНЕ. Розміщення промислових накопичувачів електроенергії повинно визначатися з урахуванням технічних можливостей їх підключення на

підстанціях розподільних мереж. Енергетична ємність ПНЕ повинна визначатися з урахуванням ефективності циклу заряду/розряду.

Враховуючи наведені припущення, формалізовану постановку задачі оптимізації з урахуванням активних обмежень можна подати так:

$$\left\{ \begin{array}{l} R(\mathbf{X}) = \frac{\Pi_p(\mathbf{X}) + A_p(\mathbf{X})}{K(\mathbf{X})} \rightarrow \max, \mathbf{X} = \{P_i, E_i, L_i, i \in [1..n_n]\}; L_i \in \mathbf{L}; \\ E_{i(t)} = E_{i(0)} - \sum_{j=0}^t \left(\eta P_{Hi(j)|j \in \mathbf{T}_D}^+ - P_{Hi(j)|j \in \mathbf{T}_C}^- \right); \\ D_t = \sum_{i=1}^{n_n} P_{Hi(t)}^+ - \sum_{i=1}^{n_c} P_{Ci(t)} - \Delta P(\mathbf{X}_t); D_t \leq D_{\max}, t \in \mathbf{T}_D; \\ C_t = \sum_{i=1}^{n_n} P_{Hi(t)}^- + \sum_{i=1}^{n_c} P_{Ci(t)} + \Delta P(\mathbf{X}_t); C_t \leq C_{\max}, t \in \mathbf{T}_C; \\ E_{i(t)} \leq E_i, t \in \mathbf{T}; \mathbf{T} = \mathbf{T}_C \cup \mathbf{T}_D; \\ |E_{i(t+1)} - E_{i(t)}| \leq \Delta E_{i_{\max}}(E_{i(t)}), t \in \mathbf{T}; \\ P_{Hi(t)}^+ \leq P_i, P_{Hi(t)}^- \leq P_i, i \in [1..n_n], t \in \mathbf{T}; \\ U_{i_{\min}} \leq U_{i(t)} \leq U_{i_{\max}}, i \in [1..n_n], t \in \mathbf{T}; I_{i(t)} \leq I_{i_{\max}}, i \in [1..n_b], t \in \mathbf{T}, \end{array} \right. \quad (2.1)$$

де $\Pi_p(\mathbf{X})$ – поточний річний прибуток;

$A_p(\mathbf{X})$ – додаткові річні амортизаційні відрахування на реновацію обладнання розподільних електричних мереж;

$K(\mathbf{X})$ – капіталовкладення, пов'язані з впровадженням ПНЕ;

\mathbf{X} – множина оптимізованих змінних, що характеризують розміщення ПНЕ, зокрема, встановлена потужність (P_i), енергоємність (E_i) та місце приєднання (L_i) i -го накопичувача;

n_c, n_n, n_p, n_b – відповідно, кількість вузлів споживання з контрольованими потужностями ПНЕ, вузлів з контрольованою напругою та віток з контрольованим струмом;

\mathbf{L} – множина потенційних місць встановлення ПНЕ; $E_{i(0)}$, $E_{i(t)}$ – енергія накопичувача, що може бути вилучена станом на початок розрахункового періоду та в момент часу t ;

ΔE_{i_max} – максимальний приріст ємності накопичувача протягом заданого періоду Δt , що характеризує швидкість заряду/розряду;

η – показник ефективності циклу заряду/розряду ПНЕ, що визначає частку накопиченої енергії, яка може бути використана;

$P_{Hi(t)}^+$, $P_{Hi(t)}^-$ – середня потужність накопичувача, відповідно, під час розряду та заряду акумуляторів;

$P_{Ci(t)}$ – середня потужність i -го вузла споживання протягом періоду t ; \mathbf{T}_D ,

\mathbf{T}_C – множина періодів часу t заданої тривалості, що відповідають розряду та заряду акумуляторів накопичувача, відповідно;

D_t , C_t – небаланси потужності, що виникають у РЕМ протягом періоду t розряду чи заряду акумуляторів накопичувача, відповідно;

U_{i_max} , U_{i_max} , I_{i_max} – гранично-допустимі значення напруг у контрольованих вузлах та струмів у контрольованих вітках заступної схеми РЕМ;

C_{max} , D_{max} – граничні значення перетоків електроенергії на межі балансової належності РЕМ у прямому та зворотному напрямках, відповідно.

Суттєвого спрощення задачі (2.1) можна отримати, якщо знехтувати впливом режимів роботи ПНЕ на втрати електроенергії в розподільних мережах. Тоді така постановка задачі актуальна для оператора СНЕ, оскільки дозволяє оцінити обсяг інвестицій у розвиток систем зберігання, що забезпечить швидке повернення коштів:

$$\left\{ \begin{array}{l}
R(\mathbf{X}) = \frac{\Pi_p(\mathbf{X}) + A_p(\mathbf{X})}{K(\mathbf{X})} \rightarrow \max, \mathbf{X} = \{P_\Sigma, E_\Sigma\}; \\
E_{\Sigma(t)} = E_{\Sigma(0)} - \sum_{j=0}^t \left(\eta P_{H\Sigma(j)|j \in \mathbf{T}_D}^+ - P_{H\Sigma(j)|j \in \mathbf{T}_C}^- \right); \\
D_t = P_{H\Sigma(t)}^+ - \sum_{i=1}^{n_c} P_{Ci(t)} - \Delta P(\mathbf{X}); D_t \leq D_{\max}, t \in \mathbf{T}_D; \\
C_t = P_{H\Sigma(t)}^- + \sum_{i=1}^{n_c} P_{Ci(t)} + \Delta P(\mathbf{X}); C_t \leq C_{\max}, t \in \mathbf{T}_C; \\
\mathbf{T} = \mathbf{T}_C \cup \mathbf{T}_D; \\
E_{\Sigma(t)} \leq E_\Sigma, t \in \mathbf{T}, \\
E_{\Sigma(t+1)} - E_{\Sigma(t)} \leq \Delta E_{\Sigma_max}(E_{\Sigma(t)}), t \in \mathbf{T}, \\
P_{H\Sigma(t)}^+ \leq P_\Sigma, P_{H\Sigma(t)}^- \leq P_\Sigma, t \in \mathbf{T};
\end{array} \right. \quad (2.2)$$

де P_Σ , E_Σ – сумарна встановлена потужність та енергоємність накопичувачів;

$P_{H\Sigma(t)}^+$, $P_{H\Sigma(t)}^-$ – сумарна середня потужність накопичувачів, відповідно, під час розряду та заряду акумуляторів.

Поточний річний прибуток у такому формулюванні представлено на основі даних вимірювань або типових графіків [11] загального споживання електроенергії та динаміки цін на електроенергію на внутрішньодобовому ринку електроенергії. Будь-який метод оптимізації нелінійних неперервних функцій, наприклад градієнтний метод [12], може бути використаний для розв'язування оптимізаційних задач.

Проте формулювання (2.2) має суттєвий недолік, пов'язаний з тим, що під час декомпозиції складної задачі втрачається зв'язок між важливими для ОСР економічними факторами та технічними обмеженнями, важливими для ОСР. Таке спрощення може призвести до негативних рішень на етапі видачі технічних умов для приєднання ПНЕ. Їх впровадження в майбутньому замість спрощення експлуатації мереж розподілу може призвести до необхідності їх технічного переоснащення через неузгодженість режимів СНЕ.

Таким чином, задачу оптимізації у формулюванні (2.2) можна використовувати лише для обмеження області пошуку оптимальних рішень \mathbf{X} сумарною потужністю і ємністю ПНЕ.

Для визначення оптимального рішення щодо розміщення та потужності конкретних ПНЕ необхідно вирішити питання енергоефективності розподільних мереж. Критерієм оптимальності є максимальна рентабельність підключення ПНЕ до розподільних мереж. Незалежними оптимізованими змінними є ємність і місце підключення окремих ПНЕ.

Для кожного характерного періоду заряду, або розряду ПНЕ задачу оптимізації режиму мереж розподілу за потужністю та напругою можна подати у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} R'(\mathbf{X}) = \frac{\Pi'_p(\mathbf{X}) + A'_p(\mathbf{X})}{K'(\mathbf{X})} \rightarrow \max, \mathbf{X}_i = \{E_i, L_i, i \in [1..n_n]\}, L_i \in \mathbf{L}; \\ E_{i(t)} = E_{i(t-1)} - \left(\eta P_{Hi(t)|t \in T_D}^+ - P_{Hi(t)|t \in T_C}^- \right); \\ |E_{i(t)} - E_{i(t-1)}| \leq \Delta E_{i_max}(E_{i(t)}), t \in \mathbf{T}, \\ U_{i_min} \leq U_{i(t)} \leq U_{i_max}, i \in [1..n_n], t \in \mathbf{T}; \\ I_{i(t)} \leq I_{i_max}, i \in [1..n_b], t \in \mathbf{T}, \\ E_{i(t)} \leq E_i, i \in [1..n_n], \sum_{i=1}^{n_n} E_{i(t)} \leq E_\Sigma, \sum_{i=1}^{n_n} P_{i(t)} \leq P_\Sigma, t \in \mathbf{T}, \end{array} \right. \quad (2.3)$$

де $\Pi'_p(\mathbf{X})$ – поточний річний прибуток РЕМ, зумовлений зниженням втрат електроенергії;

$K'(\mathbf{X})$ – капіталовкладення, пов'язані з приєднанням ПНЕ до електромереж;

$A'_p(\mathbf{X})$ – додаткові річні амортизаційні відрахування зумовлені приєднанням ПНЕ.

Завдання в такій постановці дає можливість врахувати інтереси ОСР при формуванні та видачі технічних умов на підключення конкретних ПНЕ до розподільних мереж.

2.2. Вирішення задачі оптимізації

Задача оптимізації параметрів і вузлів зв'язку ПНЕ (2.1) належить до задач оптимізації нелінійних неперервних функцій з обмеженнями. Для отримання максимальної обчислювальної ефективності розв'язання задачі (2.1) пропонується використовувати її декомпозицію. На першому етапі використовується постановка задачі (2.2) і визначається оптимальна сумарна ємність ПНЕ для підключення до мережі розподілу. Зменшення витрат на закупівлю електроенергії для забезпечення цього резерву споживачів розглядається як джерело доходу. Результатом розрахунків є сумарна ємність накопичувачів у мережі розподілу, обсяг інвестицій для їх встановлення та оптимальний графік зарядки та розрядки системи накопичення енергії протягом розрахункового періоду.

На другому етапі використовується постановка задачі (2.3) і метод оптимізації нелінійних функцій з обмеженнями. Для кожного інтервалу заряду, або розряду системи накопичення енергії (наприклад, $\Delta t=30$ хв.) визначаються точки підключення конкретних ПНЕ та оптимальні потужності споживання, або генерації. На цьому етапі джерелом доходу є зменшення витрат на закупівлю електроенергії з урахуванням зменшення втрат електроенергії. На підставі значень потужності розраховується оптимальна потужність ПНЕ для встановлення на певній підстанції.

Метод ідеального (економічного) струморозподілу [13] показав високу ефективність для вирішення подібних задач, пов'язаних з електричними мережами та системами. Метод отримано на основі принципу найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського.

Відповідно до методу ідеального струморозподілу оптимальні потужності джерел та споживачів електроенергії за критерієм мінімальних втрат електроенергії можна визначити за результатами моделювання «ідеальних» режимів електромереж. Для цього використовуються заступні схеми мережі з активними опорами.

Економічні фактори, пов'язані з установкою та експлуатацією нового обладнання, можна врахувати шляхом додавання відповідних фіктивних опорів до схеми заміщення. Ці опори непостійні. Вони змінюються нелінійно в залежності від режимних параметрів електричних мереж і незалежних оптимізованих змінних X .

Використання даного підходу, на відміну від класичних методів нелінійного програмування, значно скорочує тривалість розрахунків для оптимізації параметрів окремого режиму електромережі. Рішення виявляється максимально наближеним до глобального мінімуму цільової функції, якщо його можна виразити у вигляді витрат енергії.

Обчислювальна ефективність і надійність підходу забезпечується зведенням задачі багатofакторної оптимізації розміщення ПНЕ до ітераційного розрахунку «ідеальних» режимів розподільних електричних мереж за відповідними схемами заміщення. Стійкість рішення забезпечується відсутністю накопичення помилок розрахунку між ітераціями та послідовними інтервалами часу.

Завдяки скороченню витрат часу на оптимізацію розміщення ПНЕ для окремого етапу графіка навантаження мереж розподілу можна аналізувати ефективність роботи ПНЕ за тривалі періоди (рік і більше). Вихідними даними є типові, виміряні, або прогнозовані графіки навантаження та генерації зі стандартною дискретністю Δt .

2.3. Моделі ідеального струморозподілу в розподільних електричних мережах

Завдання оптимізації перетікання активної потужності в електричних мережах за критерієм мінімального споживання електроенергії можна звести до розрахунку економного струморозподілу за допомогою заступної г-схеми електричних мереж [13]. Подібний підхід застосовувався для оптимізації розміщення та ємності ПНЕ відповідно до оренди їх підключення. З метою врахування економічних факторів, зокрема капітальних витрат на підключення та експлуатацію ПНЕ, до заступної г-схеми введено додаткові економічні опори R_e (рис.2.1).



Рисунок 2.1-. Заступна схема електромережі для розрахунку ідеального струморозподілу за рентабельністю приєднання накопичувачів енергії

Вирази для розрахунку та коригування економічних опорів отримано еквівалентними перетвореннями виразу для визначення рентабельності капітальних вкладень [14]:

$$R = \frac{\Pi_p + A_p}{K}, \quad (2.4)$$

Поточний річний прибуток враховує балансовий прибуток, спричинений надходженнями від скорочення витрат на електроенергію, без урахування відрахувань на обслуговування кредиту та податку на прибуток.

Після математичних виразів для складових доходів і відрахувань вираз (2.4) набув вигляду:

$$R = \sum_t \left(\begin{aligned} & \Delta P_{(t)}^0 \Delta t \frac{C_{(t)}}{K} - \Delta P_{(t)} \Delta t (1 - \alpha_{\text{п}}) \frac{C_{(t)}}{K} - \\ & - \left(\alpha_{\text{е}} + \alpha_{\Delta W} \sum_{i=1}^{n_{\text{п}}} P_i \Delta t \frac{C_{(t)}}{K} + \alpha_{\text{р}} \right) (1 - \alpha_{\text{п}}) - \alpha_{\text{кр}} - \alpha_{\text{р}} \end{aligned} \right), \quad (2.5)$$

де ΔP^0 , ΔP – втрати потужності для характерного режиму РЕМ до та після приєднання ПНЕ з урахуванням заданого (з боку ОСН) графіка їх експлуатації;

$C_{(t)}$ – ціна на електроенергію на внутрішньодобовому ринку протягом t -го періоду;

$\alpha_{\text{е}}$ – питомі річні експлуатаційні видатки для ПНЕ;

$\alpha_{\Delta W}$ – питомі втрати енергії в ПНЕ, зокрема ефективність перетворення та витрати на власні потреби;

$\alpha_{\text{р}}$ – питомі річні амортизаційні відрахування на приєднання ПНЕ;

$\alpha_{\text{п}}$ – податок на балансовий прибуток;

$\alpha_{\text{кр}}$ – річні витрати на обслуговування кредитних коштів;

K – капіталовкладення на приєднання ПНЕ.

Для підключення ПНЕ до розподільних мереж використовуються типові технічні рішення. Вони можуть відрізнятися в залежності від схеми підстанції, до якої планується підключення. Проте загальні капіталовкладення на підключення даної сукупності ПНЕ можна вважати умовно постійними. Виходячи з цього, перша складова виразу (2.5) практично не вплине на оптимальність рішень щодо потужностей та місць підключення ПНЕ. Тоді

задачу (2.5) природно можна звести до знаходження мінімальних експлуатаційних витрат в РЕМ, приведених до одиниці капіталовкладень:

$$B_* = \sum_t \left(\Delta P_{(t)} \Delta t (1 - \alpha_{\Pi}) \frac{C_{(t)}}{K} + \left(\alpha_e + \alpha_{\Delta W} \sum_{i=1}^{n_H} P_i \Delta t \frac{C_{(t)}}{K} + \alpha_p \right) (1 - \alpha_{\Pi}) + \alpha_{кр} + \alpha_p \right). \quad (2.6)$$

Для кожного часового зрізу графіка функціонування ПНЕ умовною тривалістю Δt відносна вартість втрат електроенергії [в. о./кВт год] є сталою:

$$b_{\text{втр}(t)*} = (1 - \alpha_{\Pi}) \frac{C_{(t)}}{K}.$$

Тому функцію сумарних експлуатаційних витрат можна замінити функцією еквівалентних втрат електроенергії, що практично не вплине на розв'язок задачі:

$$\Delta W_{\text{екв}} = \sum_t \left(\Delta P_{(t)} \Delta t + \alpha_{\Delta W} \sum_{i=1}^{n_H} P_i \Delta t + \frac{K}{C_{(t)}} \left((\alpha_e + \alpha_p) + \frac{\alpha_{кр} + \alpha_p}{(1 - \alpha_{\Pi})} \right) \right). \quad (2.7)$$

Таким чином, отримано функцію споживання електроенергії в РЕМ, яка за величиною еквівалентна витратам, пов'язаним із застосуванням ПНЕ, з урахуванням зменшення втрат електроенергії після їх встановлення. Мінімізація еквівалентних втрат $\Delta W_{\text{екв}}$ у зоні балансових обмежень і обмежень на параметри (2.3) можна отримати для кожного з необхідних місць при підключенні ПНЕ значення P_i потужностей, що відповідають розв'язкам задачі максимізації рентабельності (2.3).

Для того, аби під час визначення ідеального струморозподілу було враховано економічні чинники згідно (2.7), необхідно до заступної схеми

«ідеального» режиму розподільних електричних мереж внести активні опори, втрати в яких будуть еквівалентні додатковим втратам електроенергії

$$R_{ei} = \frac{U_i^2}{P_i} \sum_t \left(\alpha_{\Delta W} + \frac{K}{C_{(t)} P_i \Delta t} \left((\alpha_e + \alpha_p) + \frac{\alpha_{kp} + \alpha_p}{(1 - \alpha_n)} \right) \right). \quad (2.8)$$

Вираз для визначення економічних опорів R_{ei} містить незалежні оптимізовані змінні P_i , економічні показники $C_{(t)}$, а також залежні параметри режиму U_i . Тому економічні опори будуть змінюватися під час пошуку оптимального розв'язку (рис.2.2).

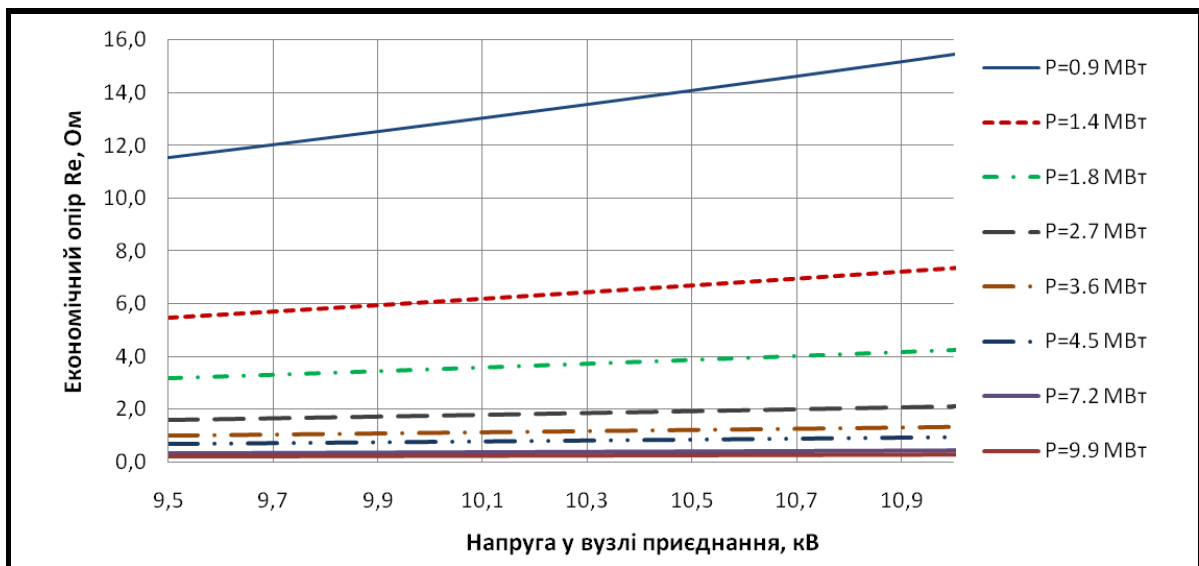


Рисунок 2.2 - Значення економічного опору, для заданих потужностей розряду накопичувачів енергії

З графіків залежності економічних опорів ПНЕ від рівнів напруг у вузлах приєднання (рис.2.2) видно, що збільшення максимальної потужності ПНЕ супроводжується зменшенням абсолютних значень економічних опорів. Окрім цього, знижується чутливість економічних опорів до зміни напруги у вузлах з'єднання.

Отже, якщо за заданої ємності СНЕ доцільним виявилось приєднання окремого ПНЕ до i -тої підстанції, то подальше зростання ємності буде супроводжуватися нарощуванням встановленої потужності i -того ПНЕ. Така особливість підходу забезпечує виправдане зменшення кількості необхідних вузлів підключення ПНЕ та зменшення капітальних витрат.

2.4. Оптимізація розміщення. Критерій максимальної рентабельності

Структурну схему наведено на рис.2.3 програмного модуля оптимізації розміщення додаткових ПНЕ в розподільних електричних мережах (РЕМ), призначеного для вирішення наступних завдань: аналіз та введення РЕМ режиму в допустиму зону; оцінка доцільності встановлення ПНЕ; режим активної оптимізації. Зазначені завдання є функціонально пов'язані та мають низку загальних процедур та дозволяють ефективно вирішувати питання техніко-економічного обґрунтування компенсації активної потужності.

Вихідними даними для визначення оптимальних місць підключення та потужності ПНЕ в електромережах є параметри пасивних РЕМ, параметри характерних режимів, а також конструктивні параметри КУ, які можуть бути використані для оптимізації перетоків активної потужності.

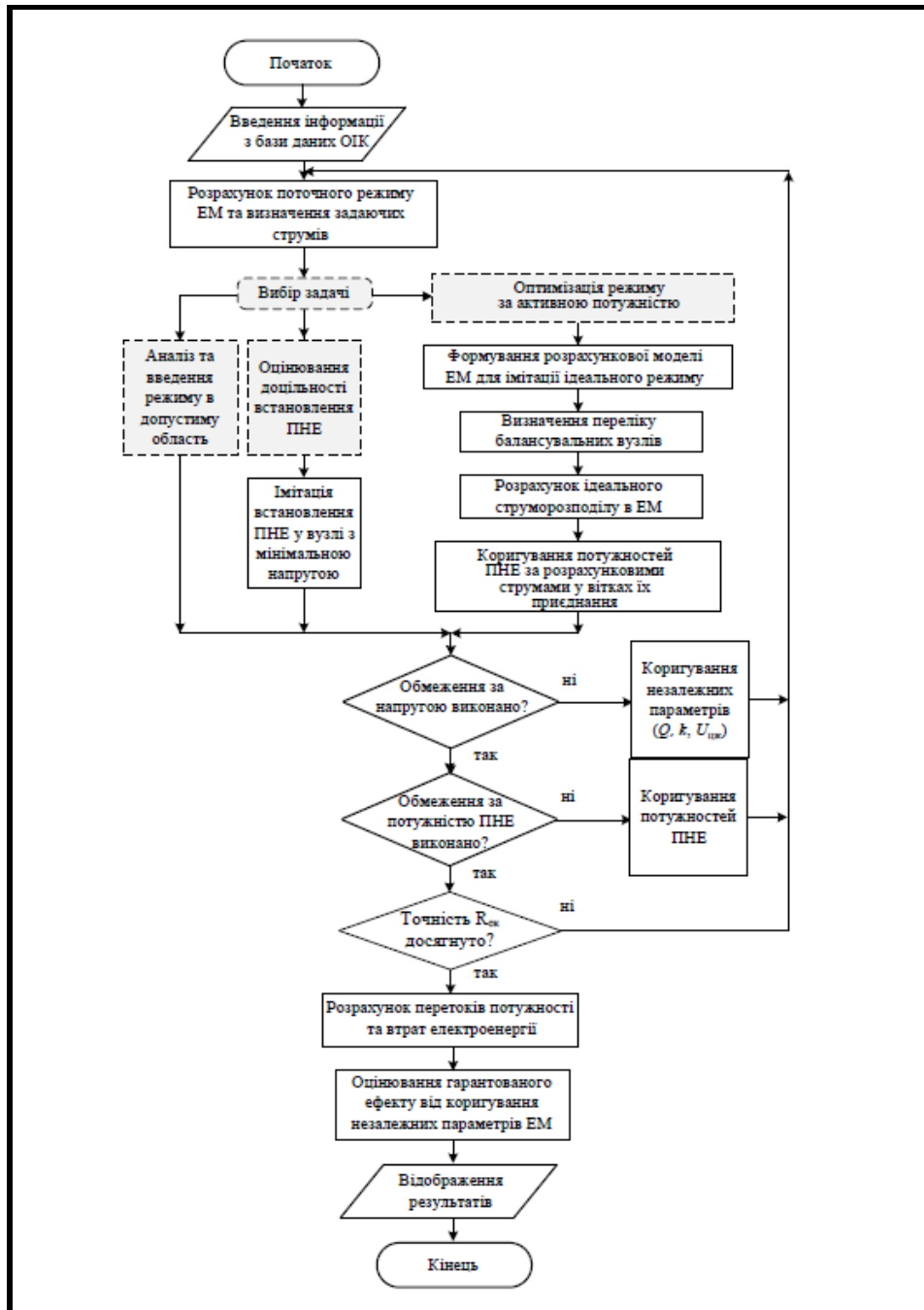


Рисунок 2.3 – Структура модулю

Інформація про пасивні параметри надходить з корпоративних джерел даних енергокомпанії, архівів служб, підстанцій, диспетчерської служби, ліній та ін. в залежності від функціональної структури компанії.

Інформація про параметри режиму визначається розрахунковим шляхом з використанням інформації технічного та комерційного моніторингу енергокомпанії.

Розрахункам оптимізації розміщення промислового накопичувача електроенергії (ПНЕ) повинні передувати аналітичні розрахунки, для оцінки критичних режимів РЕМ, регулювання напруги та активної потужності зокрема режиму мінімальних і максимальних навантажень, а також після аварійних режимів. За результатами визначено необхідність використання КРП, основне завдання, яке вирішує впровадження КУ (обмеження струмів ЛЕП, регулювання напруги, зменшення втрат), а також надійність РЕМ і якість також оцінюється за наявного інформативного забезпечення.

Після з'ясування проблеми, що вирішується впровадженням ПНЕ, необхідно оцінити виправданий ефект, який, окрім споживання активної потужності в РЕМ, залежить від надійності, точність оцінки електропостачання споживачів, точність визначення втрат і режимних параметрів. Якщо обґрунтований ефект компенсації активної потужності в найбільш електрично віддаленому вузлі позитивний, то вважається доцільним розміщення засобів групової КРП.

Визначення оптимальних місць підключення та потужностей ПНЕ за критерієм максимальної рентабельності виконується в такій послідовності.

1. З використанням наявного інформаційного забезпечення формуються вихідні дані для розрахунку усталеного режиму РЕМ для визначення рівнів напруги в вузлах. Активні та реактивні потужності у вузлах, зокрема потужності ПНЕ і раніше реалізовані ємності та потужності РДЕ вважаються заданими. За результатами розрахунку визначаються задані струми у вузлах, завдяки яким можливий перехід на лінеаризований модуль поточного режиму, еквівалентний вихідному.

2. Розрахункова модель РЕМ формується для відтворення ідеального струморозподілу відповідно до втрат потужності. Для цього забезпечується РЕМ шляхом заступної г-схеми. Наявні ПНЕ мають фіксовані задаючі струми. Нові ПНЕ, розміщення яких здійснюється з метою забезпечення максимальної рентабельності компенсації активної потужності з урахуванням обмежень

напруги та потужності установки, забезпечуються економічними опорами, що визначаються виразом:

$$R_{ei}^P = \frac{U_i^2}{P_i} \left[\alpha_{втр} + \frac{K_i (\alpha_e + \alpha_p)(1 - \alpha_{п}) + (\alpha_{кр} + \alpha_p)}{\tau c(1 - \alpha_{п})} \right]. \quad (2.9)$$

Вузлам з'єднання ПНЕ присвоюється властивість балансування активних потужностей за потужністю, що дає можливість виводити їх потужності зі списку незалежних змінних і застосовувати екстремальні значення, розраховуючи економічний режим РЕМ.

3. За допомогою лінеаризованої моделі в координатах вузлової напруги розраховано режим РЕМ, який є ідеальним з точки зору втрат потужності та більш економічного струморозподілу. Це відповідає мінімальним втратам активної потужності в заступній схемі РЕМ з економічними опорами, а також максимальній рентабельності впровадження ПНЕ.

4. Розрахункові струми у вітках з економічними опорами окремих ПНЕ переведені в граничні значення встановлених активних потужностей, тобто такі, що забезпечують максимальну рентабельність їх встановлення.

5. На наступному етапі перевіряються межі відхилень напруги у вузлах РЕМ. Якщо обмеження окремих вузлів не підтримується, то регулювання напруги імітується шляхом заміни зміни коефіцієнтів трансформації силових трансформаторів у мережах їх діапазону регулювання. Якщо захід виявиться неефективним, отримати примусове зменшення розрахункових потужностей ПНЕ за результатами розв'язання допоміжної задачі оптимізації. Після цього вузол з'єднання ПНЕ втрачає властивість балансуєчого вузла і виводиться із зони пошуку оптимального рішення. Для оцінки ефекту від дій щодо оптимізації режиму активної потужності та введення її в допустиму область уточнюється розрахункова модель і перераховується режим.

6. Враховуючи, що розрахункова потужність і потужність ПНЕ можуть відрізнятись від каталожних параметрів, виконується процедура округлення цих значень. Якщо потужність ПНЕ, встановленого у певному вузлі, була знижена для забезпечення обмежень за напругою, то напрямок заокруглення потужності до стандартного значення має відповідати цій корекції. Таким чином, для даного вузла потужність округлюється до найближчого меншого значення.

В інших випадках, враховуючи, що будь-яке відхилення розрахункових потужностей ПНЕ від економічних значень призведе до зниження рентабельності їх впровадження, вибір напрямку округлення виконується з урахуванням їх впливу на критерій оптимальності.

Якщо ПНЕ, встановлені для балансування активної потужності та вирівнювання графіка навантаження, обладнані засобами автоматичного регулювання, розрахована встановлена потужність має бути округлена до найближчого більшого нормативного значення. Таким чином враховується перспективний розвиток споживання електроенергії, а тимчасове перевищення генерації обмежується налаштуваннями САК.

Якщо обмеження параметрів виконуються, то поточний режим є умовно оптимальним, але потребує доопрацювання. Так, якщо точність визначення економічних опор ПНЕ не досягнута, то максимальне відхилення між значеннями $R^{P_{ei}}$ та на суміжних ітераціях перевищує задану точність, то їх коригують повторно (перехід до пункту 1). В іншому випадку рішення є оптимальним, і модуль розрахунку переходить до завершальних процедур.

7. За розрахунковими параметрами режиму РЕМ встановлюються оптимальні встановлені потужності ПНЕ і коефіцієнти трансформації трансформаторів на підстанціях, перетікання потужності по колах мережі і визначаються втрати потужності.

8. Оцінено обґрунтований ефект від впровадження ПНЕ в електромережі з урахуванням надійності мережі, якості напруги та точності інформаційного забезпечення.

9. Результати розрахунків виводяться для виконання. Проектне завдання розглядається, результати виявляються у вигляді рекомендацій для інженерно-технічного персоналу. У разі використання попередньо встановленого набору програм для налаштування ПНЕ результати надаються оперативному персоналу в режимі рекомендованих налаштувань САК компенсуючих установок. Таким чином, запропонований алгоритм дозволяє вирішувати широкий спектр завдань, пов'язаних з уточненням постановки задачі, визначенням оптимальних параметрів та оцінкою обґрунтованої ефективності в розподільних мережах.

Вище наведено алгоритм вирішення задач оптимізації розміщення ПНЕ у розподільних мережах за відсутності інших засобів регулювання активної потужності. Однак це часто не вірно для справжніх РЕМ. Мережі можуть використовувати раніше встановлені ПНЕ, засоби регулювання активних споживачів, традиційні та ВДЕ, які можуть змінювати генерацію на вимогу ЕК.

Проте кожна із зазначених електроустановок працює за своїм критерієм оптимальності, задача оптимізації розміщення ПНЕ виявляється багатокритеріальною. Для її вирішення можна використовувати метод Парето з визначенням вагових коефіцієнтів методом експертних оцінок. Проте з метою зменшення впливу суб'єктивних факторів далі запропоновано алгоритм зведення такої задачі до однокритеріальної з подальшим її вирішенням за принципом найменшої дії.

2.5. Багатокритеріальна оптимізація розміщення

Загальна послідовність розв'язування задач оптимізації розміщення ПНЕ в електричних мережах аналогічна вищенаведеним. Відмінність полягає у

формуванні розрахункової моделі для відтворення ідеального струморозподілу в РЕМ.

На відміну від попереднього випадку, коли оптимізацію потужності всіх ПНЕ проводили за критерієм максимальної рентабельності, в даному випадку кожне джерело працює за своїм критерієм оптимальності. Визначення економічних опорів ПНЕ, дозволяє врахувати особливості їх роботи та представити техніко-економічні показники їх ефективності у вигляді еквівалентних втрат потужності. Таким чином, застосування вказаних економічних опорів дозволяє звести багатокритеріальну техніко-економічну задачу визначення потужності ПНЕ до задачі мінімізації втрат потужності в РЕМ, яка ефективно вирішується за принципом найменшої дії.

На рисунку 2.4 наведено структурну схему процесу формування розрахункової моделі моделювання ідеального струморозподілу РЕМ з використанням визначення економічного опору через різні критерії оптимальності. Визначення параметрів моделі виконується в такій послідовності.

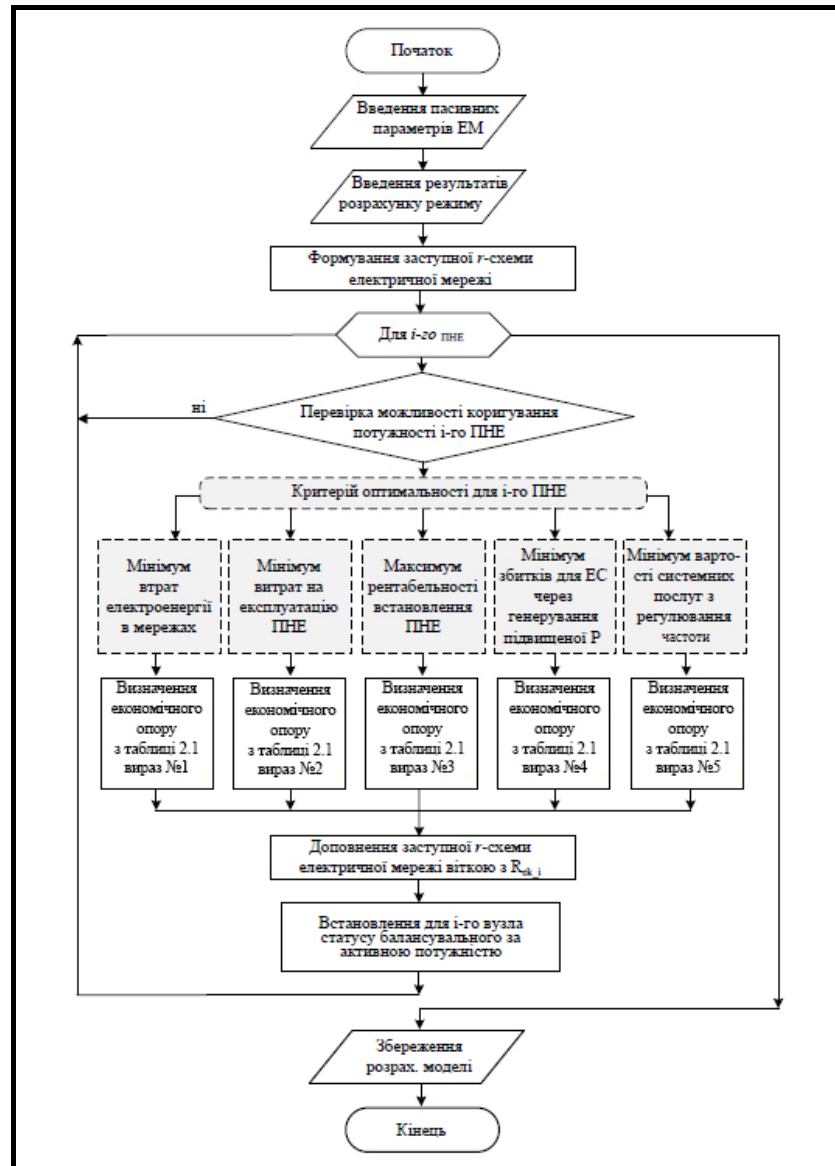


Рисунок 2.4 – Структурна схема формування розрахункової моделі визначення економічного розподілу струму в PEM

1. З використанням корпоративної бази даних основного обладнання ЕК та бази даних з результатами оперативного моніторингу стану комутаційних апаратів ЕК формується заступна r -схема мереж, яка відповідає їх характерному, або поточному режим.

2. Для кожного вузла PEM, який належить до множини вузлів приєднання активних, або потенційних джерел активної потужності визначається економічний опір залежно від специфіки роботи конкретного ПНЕ.

Якщо СНЕ встановлена і перебуває на балансі енергокомпанії, її експлуатаційні витрати не враховуються, а завданням оптимізації є визначення її поточної потужності для забезпечення мінімальних втрат електроенергії з урахуванням обмежень напруги та діапазон регулювання, тоді значення економічного опору приймається нульовим.

Якщо експлуатація або монтаж ПНЕ потребує врахування експлуатаційних витрат, поданих у вигляді вартісної характеристики $\beta_i(P_i)$, то економічний опір визначається виразом

$$R_{ei}^P = \frac{\beta_i(P_i)U_i^2}{P_i \cdot c}. \quad (2.10)$$

У цьому випадку буде запропоновано оптимальне рішення, потужність ПНЕ, яка забезпечує мінімальні втрати потужності в РЕМ при мінімальному збільшенні експлуатаційних витрат. При цьому обидва фактори представлені у вигляді еквівалентних втрат і вважаються рівнозначними. Вага експлуатаційних видатків для окремих ПНЕ може бути змінена шляхом відповідного коригування вартісних характеристик $\beta_i(P_i)$.

Якщо встановлення ПНЕ у даному вузлі здійснюється з метою забезпечення максимальної рентабельності компенсації активної потужності з урахуванням обмежень по напрузі та потужності установки, що характерно для проектів реконструкції та реновації обладнання РЕМ, то економічний опір визначається виразом:

$$R_{ei}^P = \frac{U_i^2}{P_i} \left[\alpha_{втр} + \frac{K_i}{P_i} \frac{(\alpha_e + \alpha_p)(1 - \alpha_n) + (\alpha_{кр} + \alpha_p)}{\tau c(1 - \alpha_n)} \right]. \quad (2.11)$$

Якщо для оптимізації розподілу активних навантажень РЕМ як окремі джерела активної потужності розглядати електростанції чи інші, зокрема,

розподілені джерела енергії, то економічний опір враховує втрати власника установки від недовироблення активної потужності через генерування надлишкової активної потужності:

$$R_{ei}^P = \begin{cases} 0, & \text{якщо } P_i \leq P_{i\max}; \\ \frac{\beta_{Qi} P_{нви}(Q_i) U_i^2}{P_i^2 c}, & \text{якщо } P_i > P_{i\max}. \end{cases} \quad (2.12)$$

Якщо електростанція виконує, окрім виробництва електроенергії, системну функцію забезпечення балансу активної потужності та регулювання напруги, то в економічному опорі враховується вартість наданих послуг. У цьому випадку другий вираз:

$$R_{ei}^{PQ} = \frac{U_i^2}{(P_i^2 + Q_i^2)} \frac{\beta_{Qi} P_{Ди}}{c}. \quad (2.13)$$

3. Розраховані таким чином економічні опори ПНЕ представлені у вигляді віток альтернативної заступної г-схеми РЕМ, що з'єднують вузли зв'язку ПНЕ з фіктивними вузлами балансування за активною потужністю. Введення останнього в заступну схему дозволяє вивести потужності ПНЕ зі списку незалежних змінних задачі оптимізації розміщення ПНЕ і представити їх, як залежні змінні задачі ідентифікації економічного струморозподілу в РЕМ.

Отримана таким чином модель розрахунку ідеального режиму РЕМ використовується в алгоритмі для визначення економічного струморозподілу, а згодом і оптимальних потужностей нових та раніше встановлених ПНЕ.

2.6. Оптимізація приєднання. Алгоритм

Вихідними даними для оптимізації розміщення ПНЕ в розподільних мережах є:

- схема нормального режиму РЕМ;
- типові або вимірювані графіки навантажень окремих підстанцій за розрахунковий період;
- номенклатура допустимих ПНЕ та їх конструктивні параметри;
- оптимізовані заряд-розрядні графіки СНЕ, які отримані розв'язуванням задачі в постановці (2.2).

Оптимальні вузли з'єднання окремих ПНЕ визначаються в такій послідовності. На основі вихідних даних розраховується усталений режим РЕМ. За результатами розрахунку визначають задаючі струми у вузлах РЕМ, а модель струмового режиму замінюють на лінепрізвану.

Далі формується розрахункова модель РЕМ для імітації ідеального струморозподілу. Електричні мережі подають заступною r-схемою. До потенційних вузлів підключення ПНЕ додаються економічні опори. Вузли підключення ПНЕ оснащені функцією балансування активної потужності, що дає можливість розрахувати потужність ПНЕ.

Відповідно до лінеаризованої моделі стаціонарного режиму РЕМ розраховано струморозподіл за методом Гауса, що відповідає мінімальним втратам потужності в заступній r-схемі заміщення. З урахуванням наявності в заступній схемі РЕМ економічних опорів, розрахований струморозподіл буде відповідати максимальній рентабельності підключення ПНЕ.

Для визначення потужностей заряду/розряду окремих промислових накопичувачів електроенергії розрахункові струми у вітках заступної схеми з економічними опорами ПНЕ перераховують у потужності.

Далі перевіряються межі напруги на вузлах РЕМ. При недотриманні лімітів коригуються значення приладів контролю на підстанціях. У разі неефективності наявних регулюючих пристроїв розрахункові потужності ПНЕ коригуються.

Ця послідовність повторюється до досягнення заданої точності визначення економічних опорів на кожному етапі графіка заряду/розряду СНЕ розподільної електричної мережі.

За результатами розрахунків формуються графіки заряду/розряду окремих ПНЕ протягом розрахункового періоду. За вказаними графіками за допомогою (1) розраховується необхідна ємність та інші конструктивні параметри ПНЕ для підключення в заданому вузлі РЕМ.

На завершальному етапі розрахунків потужності та ємності ПНЕ округлюються до стандартизованих значень. Ємність ПНЕ бажано округлити до вищого стандартного значення, щоб врахувати варіації електроспоживання.

2.7. Висновки до другого розділу

Отже, процесу приєднання ПНЕ має передувати визначення узагальнених параметрів СНЕ. Після цього необхідно оптимізувати підключення певного набору ПНЕ з урахуванням режимних обмежень розподільних мереж. Метод ідеального струморозподілу. Використовується, для отримання стійкого ефекту зниження втрат електроенергії та підвищення якості напруги для вирішення даної проблеми. Такий підхід дозволив отримати нове рішення задачі багатофакторної оптимізації системи накопичення енергії за комплексним критерієм оптимальності з урахуванням обмежень на залежні та незалежні параметри.

Метод ідеального струморозподілу РЕМ забезпечує швидкий пошук оптимального розподілу ПНЕ за критерієм мінімальних втрат електроенергії. Для врахування витрат на їх підключення та подальшу експлуатацію необхідно вводити фіктивні опори до заступної г-схеми. Її значення потрібно розрахувати таким чином, щоб вартість втрат електроенергії в них відповідала річним експлуатаційним витратам на підключення окремих ПНЕ.

Використання ПНЕ позитивно впливає не тільки на зниження втрат в ЕМ, а й на стабільне безперебійне електропостачання в цілому. Справедливість цього твердження доведена за допомогою алгоритму оптимізації розміщення ПНЕ в електричних мережах за критерієм максимальної рентабельності. Суть алгоритму полягає у вирішенні задачі оптимізації розміщення ПНЕ у розподільних мережах за відсутності інших засобів регулювання активної потужності. Однак це часто не вірно для справжніх ЕМ. У мережах можуть працювати раніше встановлені ПНЕ, засоби регулювання активних споживачів, традиційні та відновлювані джерела енергії.

Було досліджено багатокритеріальну оптимізацію розміщення ПНЕ та визначення потужності в електричних мережах. Відмінність від першого алгоритму полягає у формуванні розрахункової моделі для відтворення ідеального розподілу струму в РЕМ.

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ

Оператори систем розподілу (ОСР) можуть підвищити свою операційну та економічну ефективність за рахунок використання промислових накопичувачів електроенергії (ПНЕ). Нижче наведено переваги, які ОСР можуть отримати від використання ПНЕ:

- Зменшення витрат на закупівлю електроенергії на внутрішньому ринку електроенергії, для забезпечення своїх абонентів (завдяки різниці в різний період часу);
- Зменшення втрат електроенергії за рахунок вирівнювання графіків генерації та споживання (наприклад, ПНЕ заряджається від СЕС і живить споживачів у період максимального навантаження);
- У зв'язку з обмеженнями НЕК «Укренерго» та необхідністю введення графіків планових відключень ОСР несе збитки (якщо заряджати ПНЕ в період мінімальних обмежень та розряджати в період максимальних обмежень, тоді збільшиться корисний відпуск і прибуток компанії).

3.1. Використання промислового накопичувача електроенергії, для зменшення витрат ОСР на закупівлю електроенергії

В об'єднаній енергосистемі України (ОЕС) зберігається тенденція нерівномірного навантаження. Маються на увазі поняття ранкового і вечірнього максимумів, коли спостерігаються пікові навантаження, нічного періоду і періоду між ранковим і вечірнім максимумами, які характеризуються навантаженнями, мінімальними і майже рівномірними.

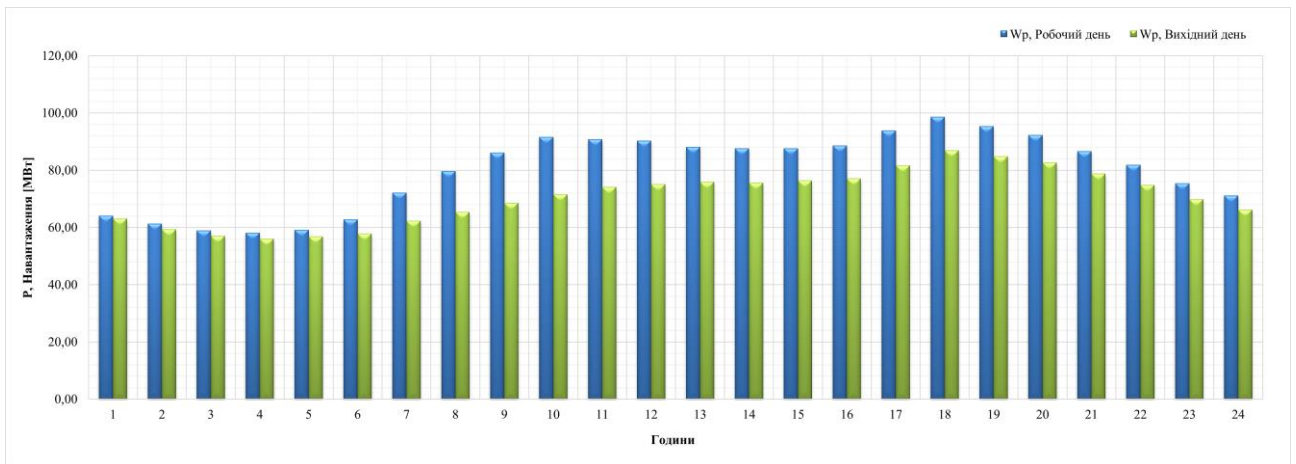


Рисунок 3.1 – Графік добового відпуску електроенергії

На рисунку 3.1 наведено добовий графік відпуску електроенергії у вихідні та робочі дні, який демонструє нерівномірність навантаження. Нерівномірність навантаження змушує ОСР робити прогноз навантаження для забезпечення безперебійного та надійного електропостачання. В умовах стрімкого зростання інтеграції ВДЕ, робити відносно точні прогнози дуже складно. Тому інструментом, який може підтримувати нормальну роботу системи, є промислова система накопичення електроенергії.

На рисунках 3.2 та 3.3 наведено графіки динаміки цін за період 24 години у вихідні та робочий час. Якщо врахувати зміну ціни на електроенергію упродовж доби, то заряд промислового накопичувача електроенергії доцільно проводити в нічний період часу та в період найменших і рівномірних навантажень, тоді витрати на електроенергію значно зменшаться, відповідно, ПНЕ працюватиме найбільш ефективно з економічної точки зору.

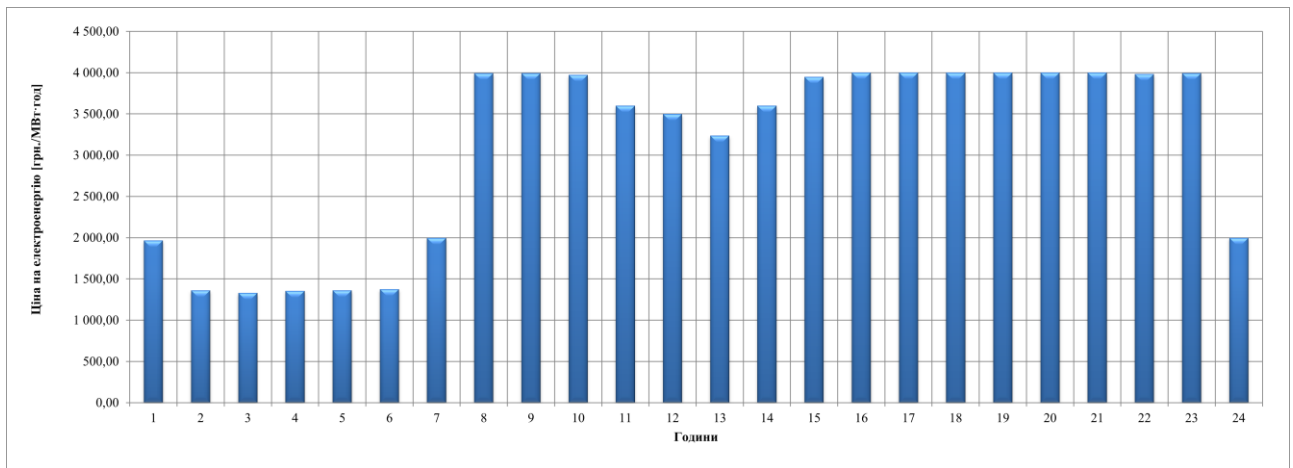


Рисунок 3.2 – Коливання ціни на електроенергію в робочий день

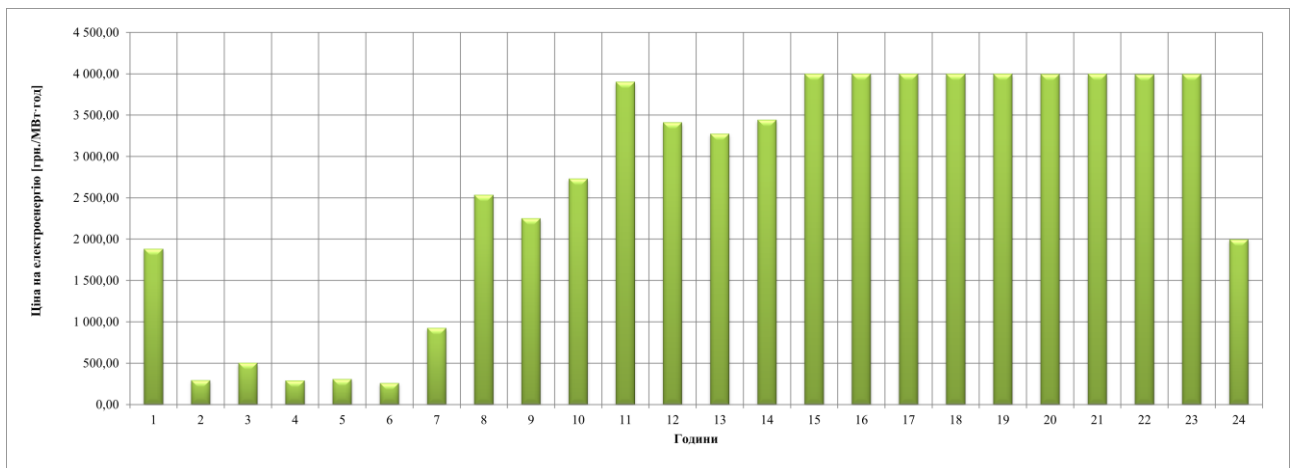


Рисунок 3.3 – Коливання ціни на електроенергію у вихідний день

В цілому принцип роботи ПНЕ нескладний і зрозумілий. На рисунках 3.4-3.13 зображені типові графіки зарядку та розряду промислового накопичувача електроенергії різної ємності упродовж доби. У періоди найменших і рівномірних навантажень накопичувач переходить в режим зарядку і накопичує енергію. Під час ранкового та вечірнього піку ПНЕ розряджається та «подає» електроенергію в мережу. Варто відзначити, що ПНЕ може деякий час працювати в режимі резервного джерела, наприклад, у разі відключення від основного джерела електроенергії.

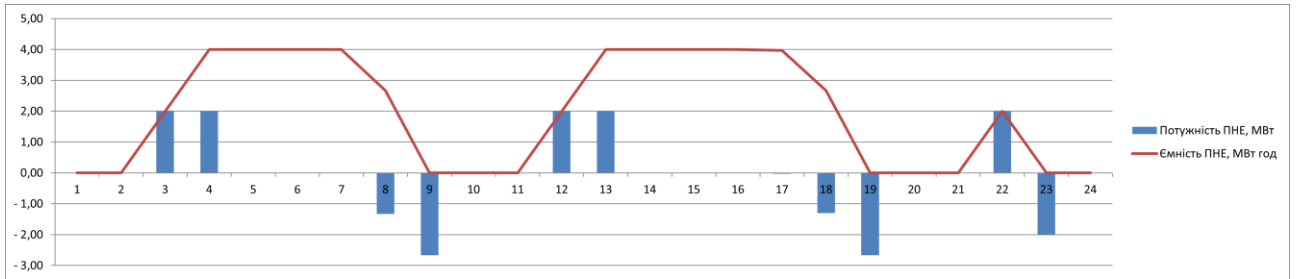


Рисунок 3.4 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 4 МВт год упродовж доби

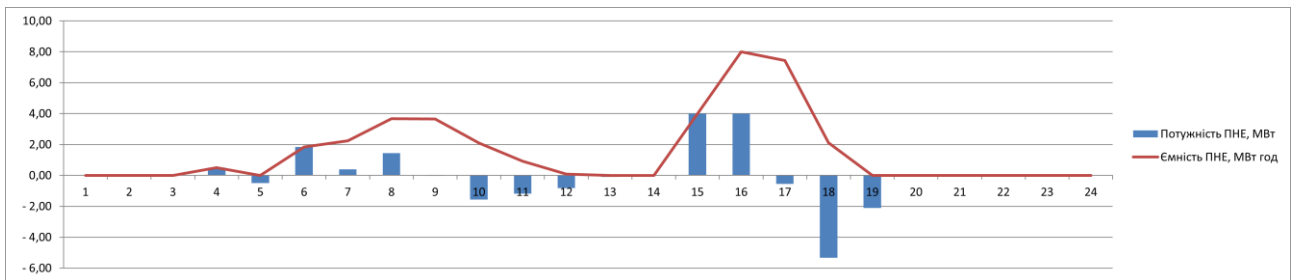


Рисунок 3.5 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 8 МВт год упродовж доби

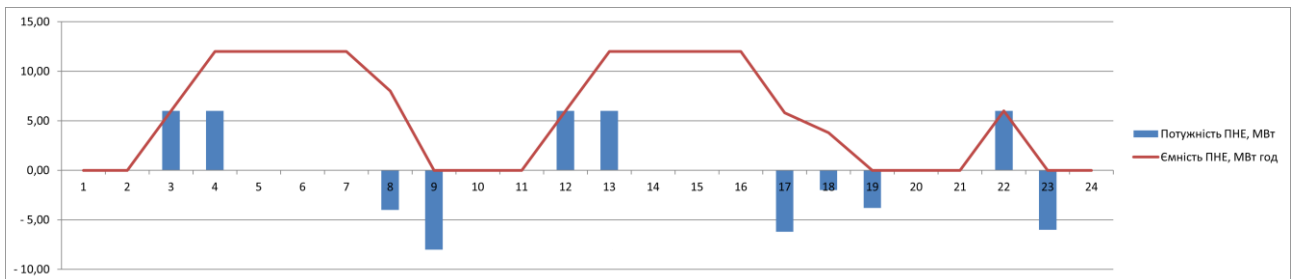


Рисунок 3.6 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 12 МВт год упродовж доби

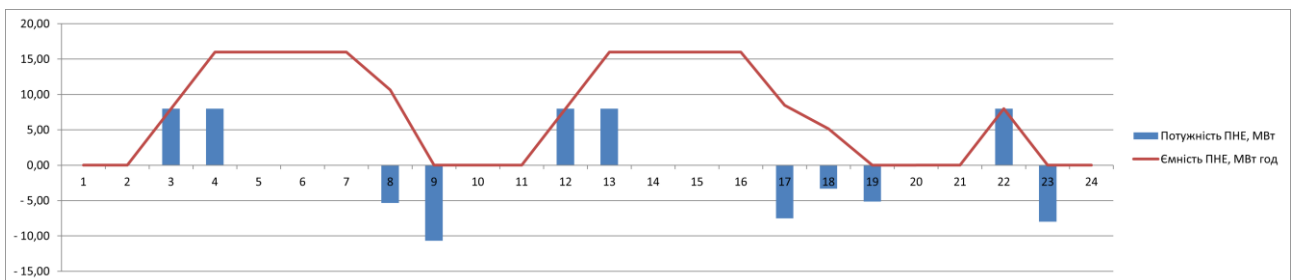


Рисунок 3.7 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 16 МВт год упродовж доби

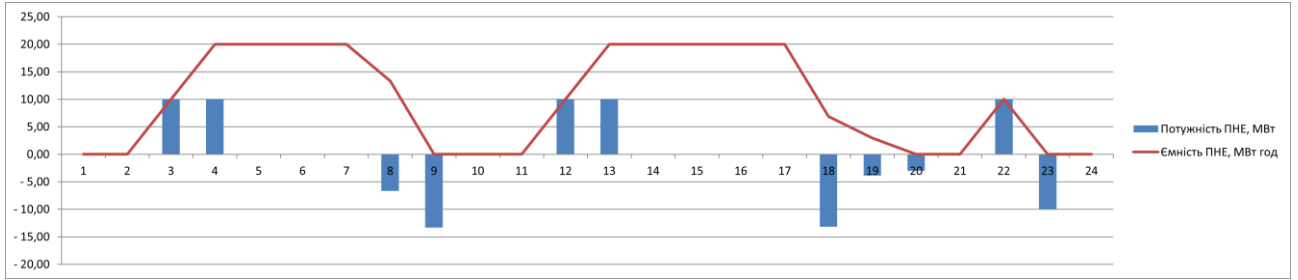


Рисунок 3.8 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 20 МВт год упродовж доби

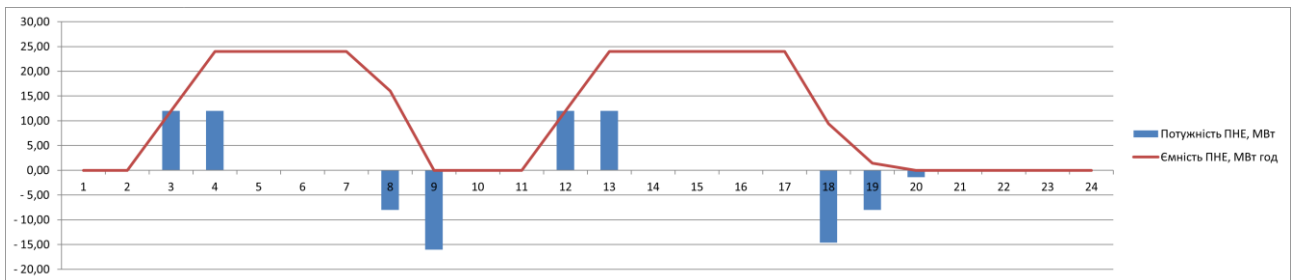


Рисунок 3.9 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 24 МВт год упродовж доби

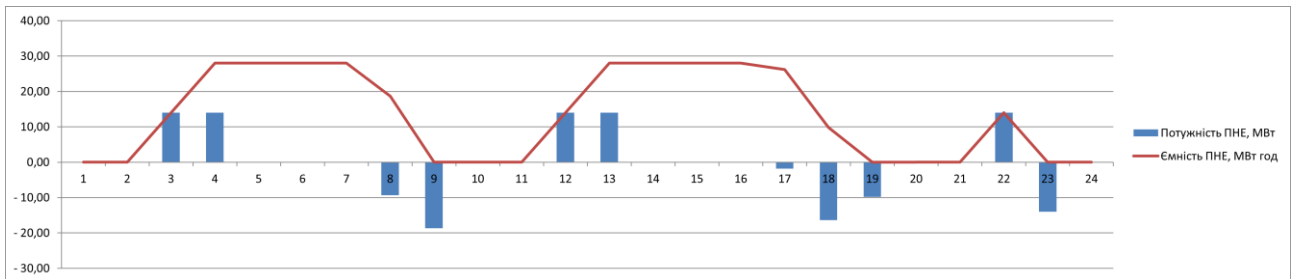


Рисунок 3.10 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 28 МВт год упродовж доби

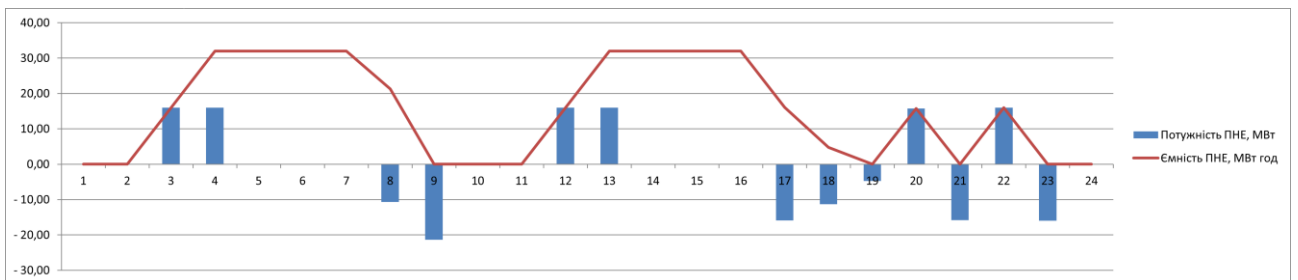


Рисунок 3.11 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 32 МВт год упродовж доби

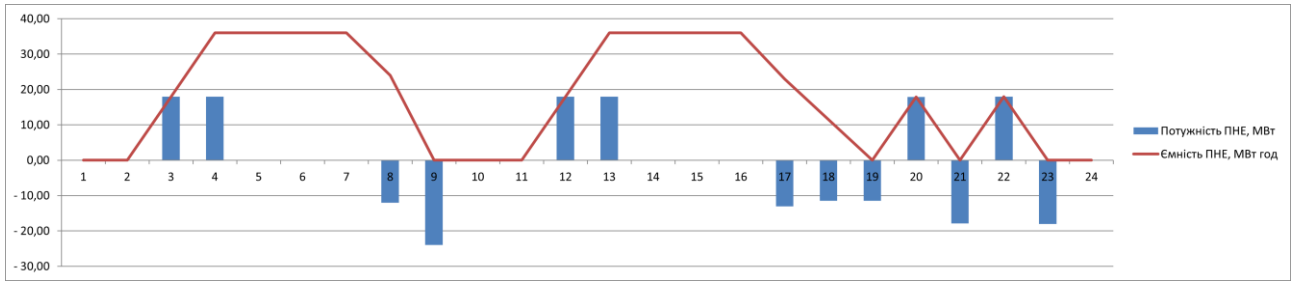


Рисунок 3.12 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 36 МВт год упродовж доби

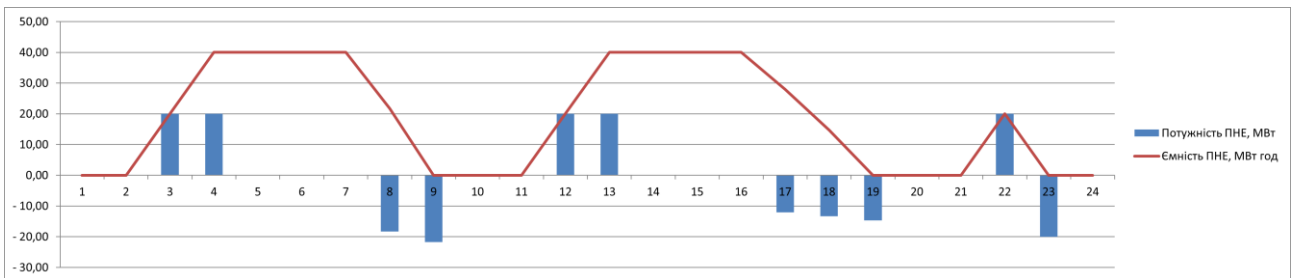


Рисунок 3.13 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 40 МВт год упродовж доби

Для того, щоб проаналізувати доцільність підключення ПНЕ до певної підстанції розподільної мережі, необхідно оцінити економічну складову. Для оцінки економічної ефективності в енергетиці використовується показник рентабельності капітальних вкладень, який, враховуючи те, що проект передбачає будівництво енергетичних об'єктів упродовж одного року, матиме такий вигляд:

$$E'_a = \frac{dB_w - B_{\text{ПНЕ}}}{K_{\text{ПНЕ}}}, \quad (3.1)$$

де $K_{\text{ПНЕ}}$ - капіталовкладення в ПНЕ за рік, тис.грн;

$B_{\text{ПНЕ}}$ - відрахування від капітальних витрат на обслуговування та ремонт ПНЕ, тис.грн;

dB_w – річне зменшення витрат на закупівлю електроенергії для забезпечення абонентів, тис.грн.

Річне зменшення витрат на закупівлю електроенергії для забезпечення абонентів визначимо як:

$$dB_W = B_{W1} - B_{W2}, \quad (3.2)$$

Де B_{W1} - витрати на закупівлю електроенергії для забезпечення абонентів до впровадження ПНЕ, тис.грн, B_{W2} – витрати на закупівлю електроенергії для забезпечення абонентів після впровадження ПНЕ, тис.грн.

Таблиця 3.1 – Дані про витрати на придбання електроенергії для забезпечення абонентів до приєднання ПНЕ

Година	W _p , Роб.день (тис. кВт/год.)	W _p , Вих.день (тис. кВт/год.)	B _w , Роб.день (тис. грн.)	B _w , Вих.день (тис. грн.)
1	64,08	63,09	125,87	123,93
2	61,28	59,30	83,31	80,62
3	58,97	56,99	78,36	75,74
4	58,15	56,01	78,70	75,80
5	59,14	56,83	80,40	77,27
6	62,76	57,82	86,30	79,50
7	72,15	62,27	143,98	124,26
8	79,73	65,40	318,37	261,14
9	86,15	68,53	344,06	273,67
10	91,59	71,49	363,83	284,00
11	90,76	74,13	326,70	266,82
12	90,27	75,11	315,74	262,73
13	88,13	75,94	285,02	245,59
14	87,63	75,61	315,33	272,06
15	87,63	76,43	345,77	301,58
16	88,62	77,09	354,40	308,29
17	93,89	81,70	375,57	326,81
18	98,67	86,97	394,68	347,90
19	95,38	84,83	381,50	339,33
20	92,25	82,69	368,98	330,77
21	86,65	78,74	346,58	314,95
22	81,87	74,78	325,98	297,78
23	75,44	69,84	301,32	278,95
24	71,16	66,22	142,07	132,20

Виходячи з даних таблиці 3.1, підсумовуючи значення за кожен день, отримаємо витрати на закупівлю електроенергії для забезпечення абонентів до введення промислового накопичувача електроенергії за один робочий день та вихідний:

$$\begin{aligned} Bw_{\text{роб1}} &= 6\,282,82 \text{ (тис. грн.)}, \\ Bw_{\text{вих1}} &= 5\,481,69 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Визначимо витрати на закупівлю електроенергії для забезпечення абонентів до впровадження ПНЕ за один рік як:

$$Bw_1 = (Bw_{\text{роб1}} \cdot n_{\text{роб}} + Bw_{\text{вих1}} \cdot n_{\text{вих}}) \cdot k_{\text{нерівномірності}}, \quad (3.4)$$

де $n_{\text{роб}}$ – кількість робочих днів у 2022 році, що становить 249,

$n_{\text{вих}}$ – кількість вихідних днів у 2022 році, що становить 116,

$k_{\text{нерівномірності}}$ – коефіцієнт, що дозволяє розрахувати витрати з урахуванням нерівномірності навантаження в зимовий і літній періоди і дорівнює 0,7.

Підставивши отримані значення(3.3) в вираз (3.4) отримаємо:

$$\begin{aligned} Bw_1 &= (Bw_{\text{роб1}} \cdot n_{\text{роб}} + Bw_{\text{вих1}} \cdot n_{\text{вих}}) \cdot k_{\text{нерівномірності}} = \\ &= (6\,282,82 \cdot 249 + 5\,481,69 \cdot 116) \cdot 0,7 = 2\,200\,298,22 \cdot 0,7 = \\ &= 1\,540\,208,75 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Таблиця 3.2 – Дані про витрати на придбання електроенергії для забезпечення абонентів після приєднання ПНЕ ємністю 4 МВт*год

Година	W _p , Роб.день (тис. кВт/год.)	W _p , Вих.день (тис. кВт/год.)	B _w , Роб.день (тис. грн.)	B _w , Вих.день (тис. грн.)
1	64,08	63,09	125,87	123,93
2	61,28	59,30	83,31	80,62
3	60,97	58,99	81,02	78,39
4	60,15	58,01	81,41	78,51
5	59,14	56,83	80,40	77,27
6	62,76	57,82	86,30	79,50
7	72,15	62,27	143,98	124,26
8	78,39	64,06	313,05	255,82
9	83,48	65,86	333,41	263,02
10	91,59	71,49	363,83	284,00
11	90,76	74,13	326,70	266,82
12	92,27	77,11	322,73	269,73
13	90,13	77,94	291,49	252,06
14	87,63	75,61	315,33	272,06
15	87,63	76,43	345,77	301,58
16	87,29	75,76	349,07	302,96
17	91,23	79,04	364,91	316,15
18	98,67	86,97	394,68	347,90
19	95,38	84,83	381,50	339,33
20	92,25	82,69	368,98	330,77
21	86,65	78,74	346,58	314,95
22	83,87	76,78	333,95	305,74
23	73,44	67,84	293,33	270,96
24	71,16	66,22	142,07	132,20

Виходячи з даних таблиці 3.2, підсумовуючи значення за кожен день, отримаємо витрати на придбання електроенергії для забезпечення абонентів після впровадження ПНЕ за один робочий і вихідний день:

$$\begin{aligned} B_{w_{\text{роб}2}} &= 6\,269,67 \text{ (тис. грн.)}, \\ B_{w_{\text{вих}2}} &= 5\,468,53 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Визначимо витрати на закупівлю електроенергії для забезпечення абонентів після впровадження ПНЕ через рік аналогічно (3.5) і отримаємо:

$$\begin{aligned} B_{w_2} &= (B_{w_{роб2}} \cdot n_{роб} + B_{w_{вих2}} \cdot n_{вих}) \cdot k_{нерівномірності} = \\ &= (6\,269,67 \cdot 249 + 5\,468,53 \cdot 116) \cdot 0,7 = 2\,195\,497,3 \cdot 0,7 =, \\ &= 1\,536\,848,11 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Підставивши отримані значення (3.5) і (3.7) в вираз (3.2) отримаємо:

$$\begin{aligned} dB_w &= B_{w1} - B_{w2} = 1\,540\,208,75 - 1\,536\,848,11 = \\ &= 3\,360,64 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Варто врахувати, що за вихідними даними, розглядається встановлення накопичувача загальною ємністю 4 МВт*год (1 контейнер), що вартує 1 000 000 \$, що за нинішнім курсом 39 000 000 грн (за курсом 1\$=39 грн), звідси:

$$K_{ПНЕ} = 39\,000 \text{ (тис. грн.)}, \quad (3.9)$$

Відрахування від капітальних витрат на технічне обслуговування та ремонт ПНЕ визначається як:

$$B_{ПНЕ} = \frac{K_{ПНЕ} \cdot P_{ПНЕ} \%}{100}, \quad (3.10)$$

де $K_{ПНЕ}$ - капіталовкладення в ПНЕ за рік, які визначено в (3.9), $P_{ПНЕ}\%$ - норма щорічних відрахувань на ремонт та обслуговування електротехнічного устаткування ПНЕ (3,0%).

Здійснивши підстановку значень капіталовкладень в ПНЕ та норм щорічних відрахувань в (3.10) отримаємо:

$$B_{\text{ПНЕ}} = \frac{K_{\text{ПНЕ}} \cdot P_{\text{ПНЕ}} \%}{100} = \frac{39\,000 \cdot 3}{100} = 1170 \text{ (тис. грн.)} \quad (3.11)$$

Для ПНЕ амортизаційні відрахування визначається як:

$$A_{\text{ПНЕ}} = \frac{K_{\text{ПНЕ}} \cdot P_A \%}{100}, \quad (3.12)$$

$P_A\%$ - норма щорічних відрахувань на амортизацію електрообладнання ПНЕ (7,2%).

Підставляючи величину капітальних вкладень ПНЕ і норми щорічних відрахувань у (3.10), отримуємо:

$$A_{\text{ПНЕ}} = \frac{K_{\text{ПНЕ}} \cdot P_A \%}{100} = \frac{39\,000 \cdot 7,2}{100} = 2808 \text{ (тис. грн.)}, \quad (3.13)$$

Використовуючи отримані значення, а саме капітальні інвестиції в ПНЕ, відрахування від капітальних витрат та відпуску електроенергії в мережу, у виразі (3.1), отримуємо:

$$E'_a = \frac{(dB_w + A_{\text{ПНЕ}}) - B_{\text{ПНЕ}}}{K_{\text{ПНЕ}}} = \frac{3\,360,64 + 2808 - 1170}{39\,000} = 0,12. \quad (3.14)$$

Виходячи з цього приведений термін окупності становить:

$$T_a = \frac{1}{E'_a} = \frac{1}{0,12} = 8,3. \quad (3.15)$$

Відповідно до алгоритму наведених вище розрахунків визначимо значення для решти промислових накопичувачів електроенергії різної ємності. Результати розрахунків для решти ПНЕ представлені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків ПНЕ

№	Ємність ПНЕ, МВт·год	Зниження витрат, %	Дохід, тис. грн./рік	Капітальні витрати, тис. грн./рік	Відрахування, тис. грн./рік	Амортизація, тис. грн./рік	Чистий грошовий потік, тис. грн./рік	Рентабельність, в.о	Термін окупності, рік
1	4	0,21	3 443,5	39 000	1170	2808	4 223,5	0,124	8,3
2	8	0,42	6 187,0	78 000	6 240	7 800	7 747,0	0,0963	9,07
3	12	0,63	8 930,4	117 000	9 360	11 700	11 270,4	0,0948	10,38
4	16	0,84	11 673,3	156 000	12 480	15 600	14 793,3	0,0939	10,55
5	20	1,05	14 418,7	195 000	15 600	19 500	18 318,7	0,0933	10,64
6	24	1,26	17 162,5	234 000	18 720	23 400	21 842,5	0,0929	10,71
7	28	1,47	19 905,4	273 000	21 840	27 300	25 365,4	0,0926	10,76
8	32	1,68	22 649,0	312 000	24 960	31 200	28 889,0	0,0923	10,80
9	36	1,89	25 393,3	351 000	28 080	35 100	32 413,3	0,0921	10,83
10	40	2,10	28 133,7	390 000	31 200	39 000	35 933,7	0,0993	10,85

За результатами проведених розрахунків можна зробити висновок, що розроблений проект інтеграції промислового накопичувача електроенергії (ПНЕ) є достатньо ефективним, що підтверджується високою рентабельністю капітальних витрат та достатньо низьким терміном окупності. Для підвищення рентабельності таких заходів доцільно використовувати дані пристрої для надання послуг балансування потужностей в енергосистемі. Це забезпечить додатковий дохід від їх експлуатації.

3.2. Використання промислового накопичувача електроенергії для вирівнювання графіків навантаження

Для отримання необхідного обсягу інформації та оцінки на етапі передпроектних розрахунків впливу роботи ПНЕ на режими РЕМ пропонується

використовувати повномасштабне моделювання за допомогою програмного комплексу «ВТРАТИ» на прикладі фрагменту електромережі 110/35 кВ АТ «Вінницяобленерго».

На даний момент, враховуючи сучасний стан інформаційного забезпечення енергопостачальних компаній України, це єдиний ефективний підхід до вирішення дослідження не лише на етапі передпроектних розрахунків, але і на етапі експлуатації.

Для проведення дослідження розглядається два варіанти встановлення в мережу ПНЕ сумарною ємністю 80 МВт год (20 контейнерів по 3,8 МВт год), та ПНЕ сумарною ємністю 8 МВт год (2 контейнери по 3,8 МВт год). Їхні графіки заряду/розряду та економічні характеристики відповідно до попереднього розділу були розраховані за допомогою MSExcel.

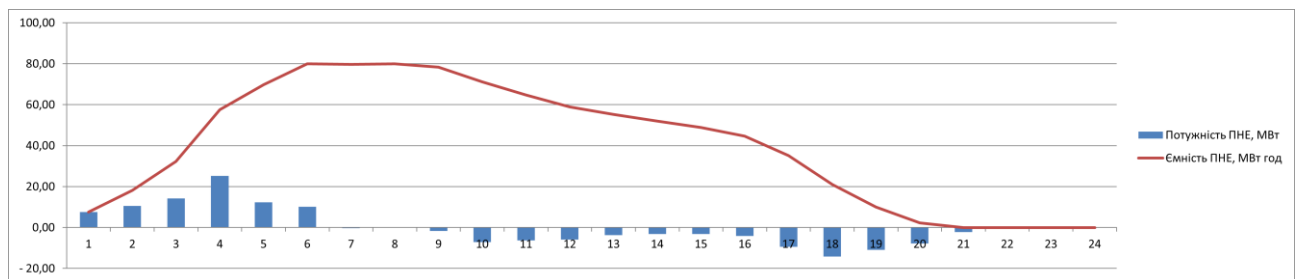


Рисунок 3.14 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 80 МВт год упродовж доби

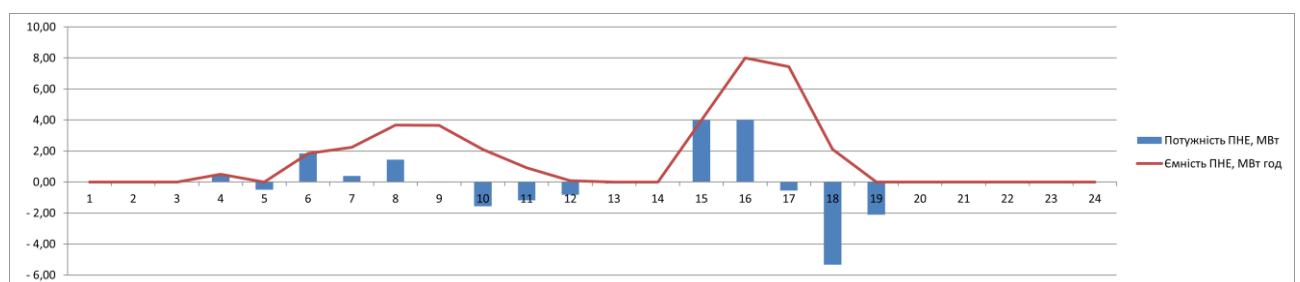


Рисунок 3.15 – Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 8 МВт год упродовж доби

Типові графіки навантаження та генерування в програмному пакеті «ВТРАТИ» наведено на рис. 3.16. Їх використання на етапі передпроектних розрахунків та техніко-економічного обґрунтування дозволяє врахувати

різницю для різних одиниць навантаження та генерації та імітувати режими роботи електромереж, близьких до реальних.

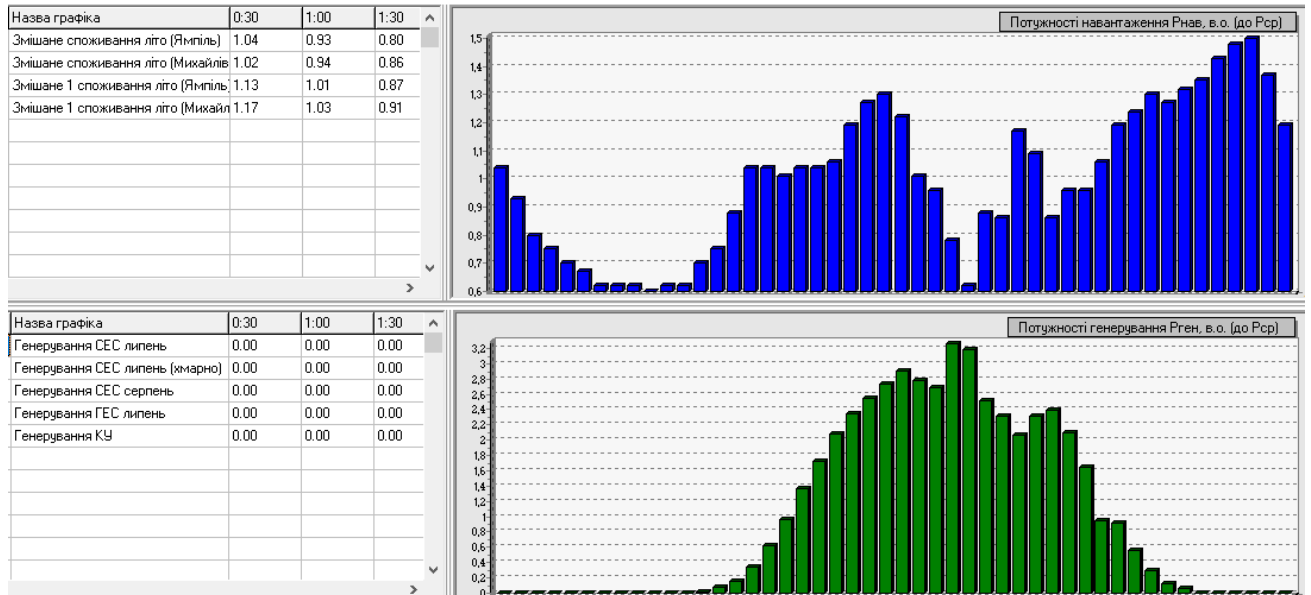


Рисунок 3.16. Характерні графіки навантаження та генерації

У програмному комплексі «ВТРАТИ» було відповідно створено для ПНЕ типові графіки.

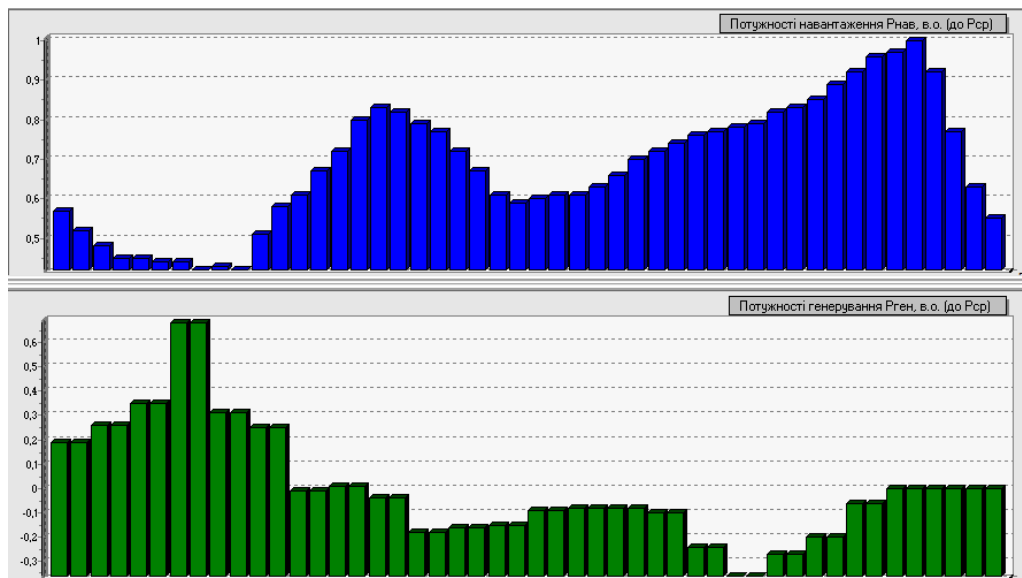


Рисунок 3.17 – Графік ПНЕ ємністю 80 МВт год упродовж доби, відносно графіку споживання у програмному комплексі «ВТРАТИ»

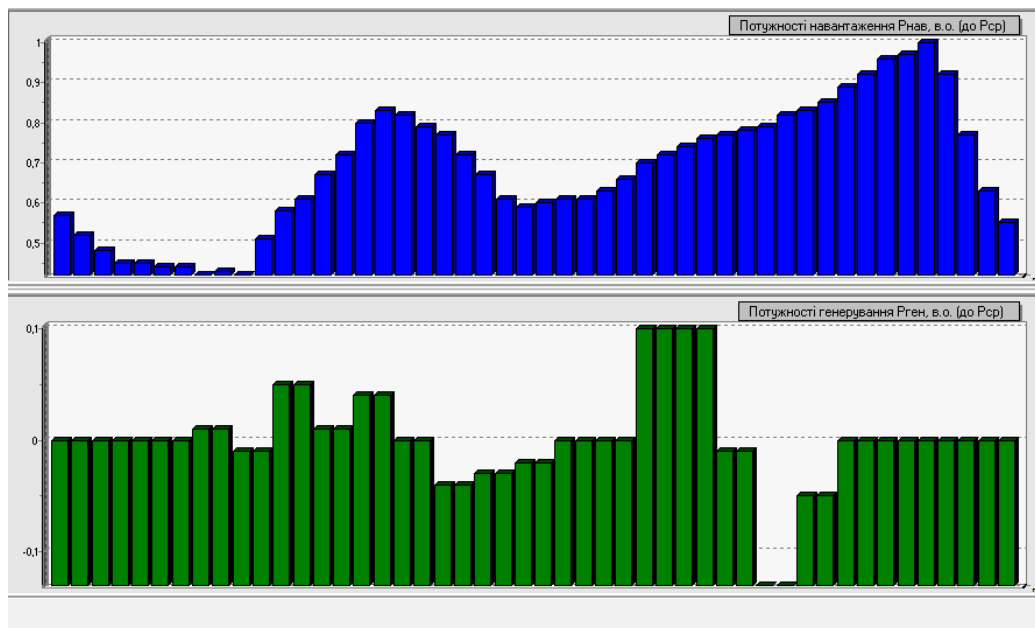


Рисунок 3.18 – Графік ПНЕ ємністю 8 МВт год упродовж доби, відносно графіку споживання у програмному комплексі «ВТРАТИ»

Використовуючи програму «ВТРАТИ», проведемо моделювання вхідної мережі до впровадження ПНЕ рис.3.19.



Рисунок 3.19 - Результати оцінки втрат електроенергії в мережах за типовими графіками навантаження та генерації (наведені графіки змін втрат у лініях електропередачі, трансформаторах та загальні втрати)

Використовуючи програму «ВТРАТИ», проведемо моделювання впливу місця встановлення накопичувача, та самого ПНЕ на мережу. Встановлюємо у

вузол 9001 промисловий накопичувач електроенергії сумарною ємністю 8 МВт год та визначаємо за допомогою програми «ВТРАТИ», як ПНЕ впливає на мережу.

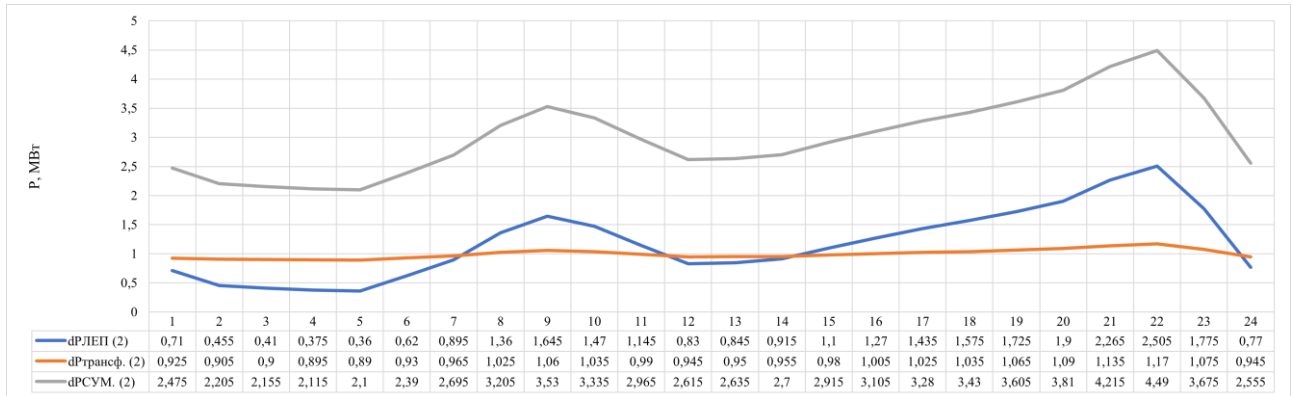


Рисунок 3.20 - Втрати електроенергії в мережах з ПНЕ (8 МВт год)
за графіком упродовж доби

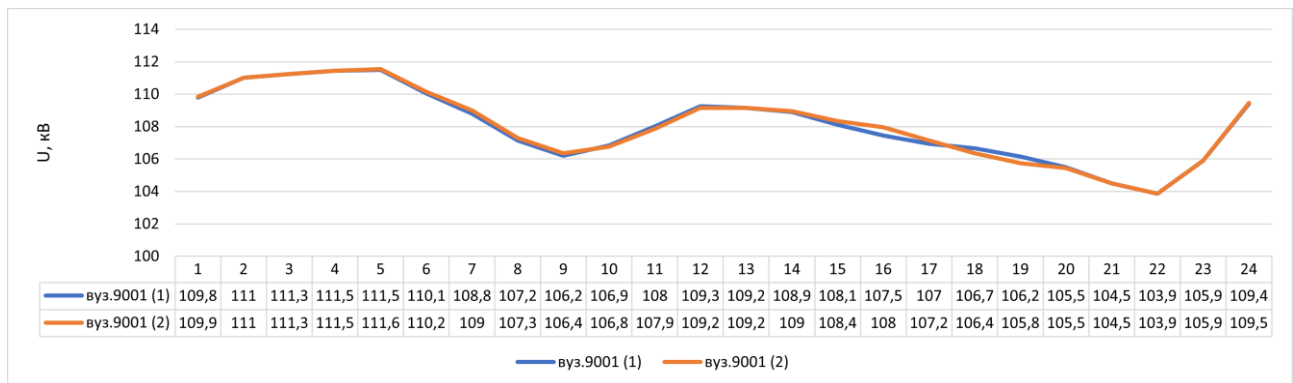


Рисунок 3.21 – Вплив ПНЕ (8 МВт год) на значення напруги у вузлі 9001 до (1)
та після (2), встановлення ПНЕ

Відповідно проведемо моделювання впливу на мережу ПНЕ з більшою сумарною ємністю, але приєднувати в одному місці такий ПНЕ не вигідно. Тому було обрано наступні місця підключення: вузол 19002, вузол 6001, вузол 9001 та вузол 1401, для найбільш кращого ефекту від впровадження ПНЕ в РЕМ.

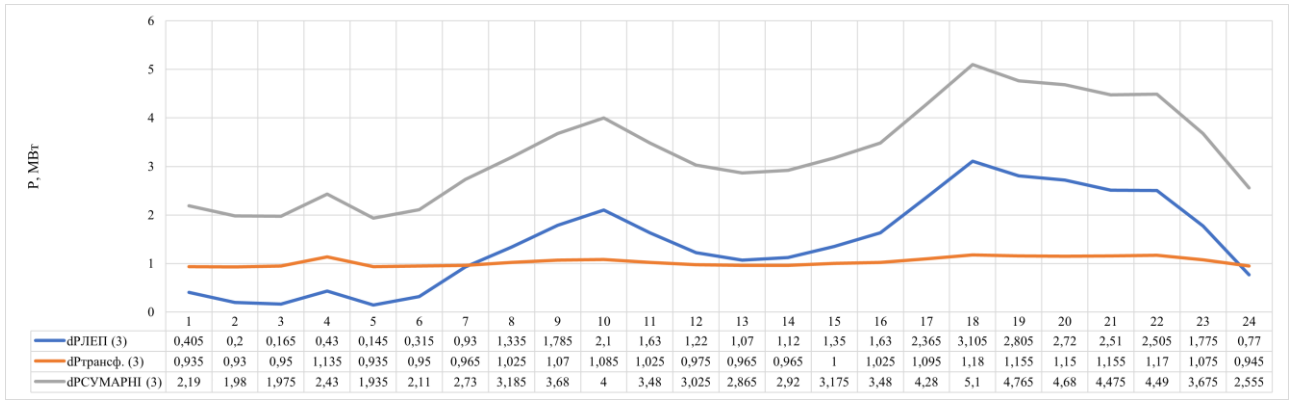


Рисунок 3.22 - Втрати електроенергії в мережах з сумарною ємністю ПНЕ (80 МВт год) за графіком упродовж доби

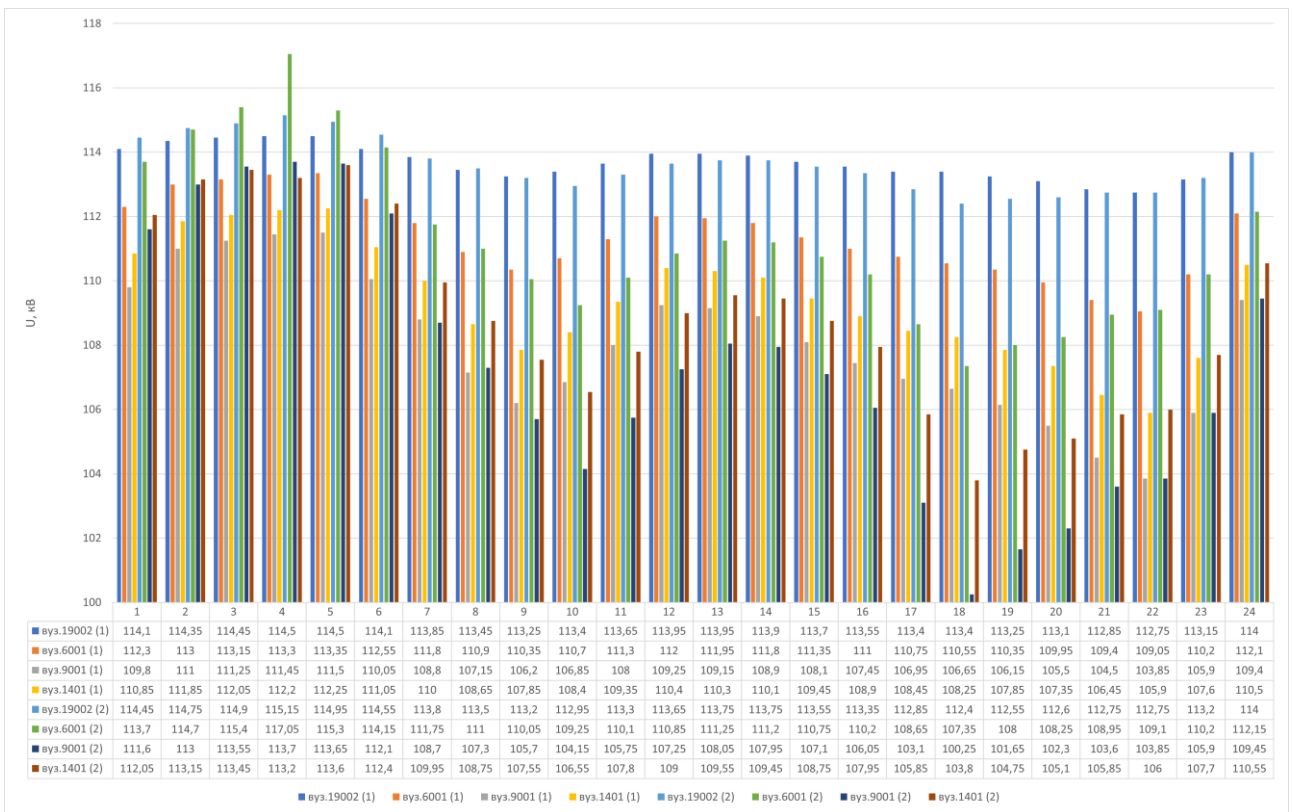


Рисунок 3.23 – Вплив ПНЕ (80 МВт год) на значення напруги у вузлах до (1) та після (2), встановлення ПНЕ

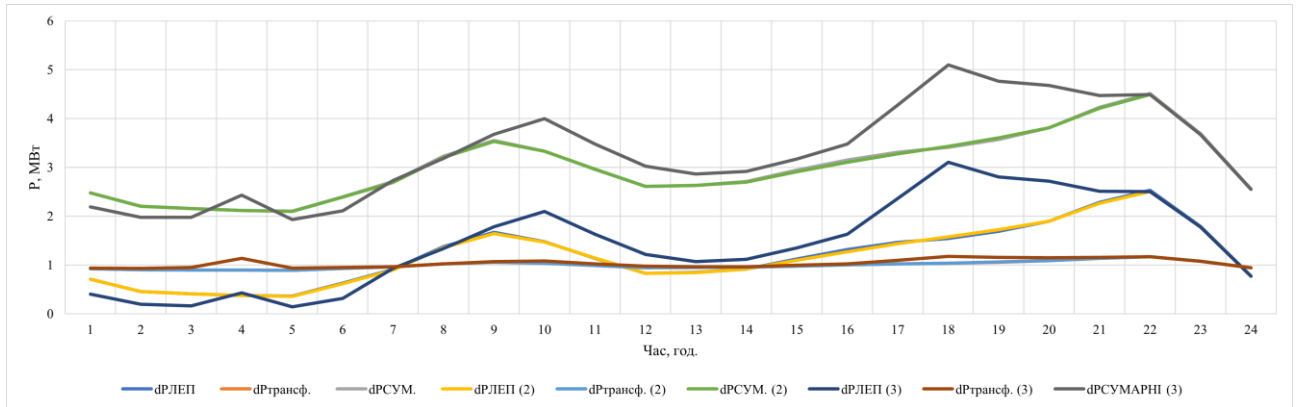


Рисунок 3.24 – Загальне порівняння втрат в мережі до та після встановлення ПНЕ

Повна оцінка впливу ПНЕ на РЕМ за допомогою програми «ВТРАТИ», наведена в додатках.

3.3. Висновки до третього розділу

Для оптимізаційних розрахунків та аналізу результатів використовувався табличний процесор MSExcel. Для розрахунку режимів розподільних мереж використовувався програмний комплекс «Втрати».

Проаналізувавши проведені дослідження, можна сказати, що з урахуванням результатів, отриманих під час аналізу впливу ПНЕ, отримано залежності, що характеризують стан електричних мереж від впливу ПНЕ у різний час доби, з різними видами навантаження.

Економічна складова дослідження показала, що в результаті використання ПНЕ втрати значно менші, ніж без нього. За результатами проведених розрахунків можна зробити висновок, що розроблений проект інтеграції ПНЕ є достатньо ефективним, що підтверджується достатньо високою окупністю капітальних витрат та невеликим терміном окупності.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

Чинне законодавство України гарантує право всіх громадян на належні безпечні та здорові умови праці. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» на кожному робочому місці має забезпечуватися реалізація конституційного права працівників на охорону життя і здоров'я під час роботи, належні безпечні і здорові умови праці. Це також стосується робіт, пов'язаних із встановленням та обслуговуванням промислових накопичувачів енергії, які працюють у складі електроенергетичної системи України. Плануючи роботи з розміщення, встановлення та експлуатації промислового накопичувача електроенергії (ПНЕ), в першу чергу, необхідно подумати про забезпечення безпеки. Потрібно не забувати про небезпеки, пов'язані з механічними, електричними пристроями та хімікатами, що містяться в акумуляторах.

У ПНЕ також існує ризик пожежі, якщо дроти, що йдуть від акумулятора, замикаються накоротко. Вищевикладене обґрунтовує актуальність проблеми, яка полягає у розробці питань охорони праці під час виконання робіт з ремонту ПНЕ, що працюють у складі електроенергетичної системи України, з урахуванням сучасних знань, системності та ризиків. орієнтовані підходи про природу небезпеки.

Враховуючи те, що для мінімізації ризику професійного захворювання та травматизму працівників під час обслуговування або монтажу ПНЕ необхідно вирішити цілий комплекс питань охорони праці, а обсяг цього розділу обмежений, сформулюємо основні завдання охорони праці за темою.

1. Провести аналіз умов праці при технічному обслуговуванні та ремонті ПНЕ, які працюють у складі електроенергетичної системи України, відповідно до міждержавного ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробництва». фактори. Класифікація».

2. Охарактеризувати основні заходи безпечного використання інструменту для роботи з ПНЕ.

3. Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці при виконанні електромонтажних робіт. Розрахувати параметри повітрообміну в приміщенні акумуляторної.

4.1. Вимоги до експлуатації приміщення акумуляторної

Протипожежний захист та забезпечення безпеки експлуатації при використанні систем накопичення енергії здійснюються шляхом:

- запобігання виникненню надзвичайних ситуацій та ліквідація їх наслідків завдяки дотриманню вимог і правил, установлених згідно з державними стандартами;

- створення умов для розвитку, підвищення технічного рівня, безпечної експлуатації та захисту систем накопичення електроенергії відповідно до законодавства;

- підтримання необхідного балансу потужності та якості енергії системами ПНЕ;

- нагляд за впровадженням нових систем протиаварійної автоматики та захисту систем ПНЕ а також засобів зв'язку та диспетчерського (оперативно-технологічного) управління з енергомережами України;

- нагляд за роботою систем протиаварійної автоматики та захисту систем накопичення енергії від несанкціонованого втручання.

Вимоги безпеки є основним пунктом експлуатації будь-яких установок, у тому числі накопичувачів електроенергії. Вимоги безпечної експлуатації є обов'язковими і висуваються на підставі ГОСТ Р МЭК 896-1-95, ГОСТ Р МЭК 60896-2-99, ТУ У БАПТА-В6.001-95, ТУ У 31.4-32942163-010. : 2007, ТУ У 31.4-25189257-011:2006, У КН Д 29.220, УДК 621.355.5(083.133), ПУЕ-7 Розділ 4.4: Акумуляторні установки.

Акумуляторне приміщення завжди має бути замкненим на замок. Особам, які оглядають ці приміщення та працюють у них, ключі видаються на загальних підставах на час роботи чи огляду. До роботи в акумуляторних приміщеннях допускаються працівники, які пройшли перевірку знань та інструктаж з безпечного поводження з кислотою, лугами, свинцем. Забороняється палити в акумуляторній кімнаті, входити в неї з вогнем, користуватися електронними нагрівальними приладами, приладами та інструментами, що можуть іскрити. На дверях приміщення акумуляторної зробити написи: «Акумулятор», «Вогненебезпечно», «Палити заборонено» та вивісити відповідні знаки безпеки про заборону використання відкритого вогню. В акумуляторних приміщеннях з припливно-витяжною вентиляцією останню слід вмикати перед зарядженням і вимикати після дегазації, але не раніше ніж через 1,5 години. після завершення зарядження.

Кожна акумуляторна кімната повинна мати:

- скляний або порцеляновий куваль з носиком (або глечик) місткістю 1,5-2 л для приготування електроліту і розливання його в посудини;
- нейтралізуючий розчин питної соди (5%) для кислотних акумуляторів і борної кислоти або оцтової есенції (одна частина на вісім частин води) для лужних акумуляторів.

Усі посудини з електролітом, дистильованою водою та нейтралізуючими розчинами повинні мати відповідне маркування (вказати назву речовин). Зберігати кислоту необхідно в скляних пляшках з притертими пробками і етикетками з її назвою. Пляшки з кислотою в кількості, необхідній для роботи батареї, і порожні пляшки повинні бути розміщені в окремому приміщенні поблизу приміщення батареї. Пляшки слід поставити на підлогу в кошиках або на дерев'яних рейках. Під час транспортування скляні пляшки з кислотами і лугами повинні переносити два працівники. Пляшки разом з кошиком транспортують у спеціальному дерев'яному ящику з ручками або на спеціальних підрамниках з отвором посередині, а також брусками, в які пляшка

разом з кошиком повинна поміститися на 2/3 висоти. Забороняється носити скляні пляшки з кислотами і лугами на спині, плечах і руках. Для приготування електроліту кислоту слід повільно (щоб запобігти інтенсивному нагріванню розчину) тонкою цівкою переливати з кухля у фарфорову або іншу жаростійку посудину з дистильованою водою. При цьому електроліт необхідно постійно перемішувати паличкою або скляною трубкою або мішалкою з кислототривкої пластмаси. Під час приготування електроліту забороняється лити воду в кислоту. У готовий електроліт допускається додавати воду. При роботі з кислотою і лугом необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: костюм (грубововняний - для кислоти і бавовняний - для лугу), гумові чоботи (під штани) або калоші, гумовий фартух, захисні окуляри і гумові рукавички. Грудочки їдкого лугу слід подрібнити в спеціально відведеному місці, попередньо загорнувши їх у мішковину.

Пайка пластин в акумуляторному приміщенні допускається за таких умов:

- виконувати роботу згідно наряду;
- паяти дозволяється не раніше ніж через 2 години після закінчення зарядки;
- для акумуляторів, що працюють за методом постійної підзарядки - 2 години. перед початком роботи перейти в режим розрядки;
- перед початком роботи провітрити приміщення протягом 2 годин;
- під час пайки приміщення необхідно постійно провітрювати;
- місце для пайки необхідно відгородити від решти батареї вогнетривкими щитами;
- для попередження отруєння свинцем та його сполуками слід вживати спеціальних заходів і визначати режим роботи відповідно до інструкцій з експлуатації та ремонту акумуляторних батарей.

Технічне обслуговування акумуляторної батареї повинно проводитися окремо спеціально підготовлені працівники з групою III.

4.2. Вимоги до експлуатації інструменту для обслуговування промислового накопичувача електроенергії

Електрифікований інструмент (далі – електроінструмент) за умовами безпеки поділяється на такі класи:

I — електроінструмент, у якого всі струмоведучі частини ізольовані, а вилка має заземлюючий контакт. В електроінструменті I класу всі частини під напругою можуть бути з основною, а окремі частини з подвійною або посиленою ізоляцією;

II - електроінструмент, у якого всі струмоведучі частини мають подвійну або посилену ізоляцію. Цей електроінструмент не має заземлюючого пристрою. Номінальна напруга для електроінструментів I і II класу повинна бути не більше 220 В для електроінструментів постійного струму; 380 В – для електроінструменту змінного струму;

III - електроінструмент з номінальною напругою не вище 42 В, у якого ні внутрішні, ні зовнішні кола не знаходяться під іншою напругою. Електроінструменти класу III призначені для живлення від безпечної наднизької напруги.

Якщо безпечна наднизька напруга досягається шляхом перетворення вищої напруги, то це має бути зроблено за допомогою безпечного ізолювального трансформатора, надалі іменованого «окремим запобіжним трансформатором», або трансформатора з окремими обмотками. Електроінструмент, який живиться від електромережі, повинен бути оснащений нерознімним гнучким кабелем (шнуром) з вилкою. Стаціонарний, гнучкий шнур електроінструменту класу I повинен мати сердечник, який з'єднує затискач заземлення електроінструмента з контактом заземлення вилки. Кабель у місці введення в електроінструмент класу I повинен бути захищений від стирання та перегинів еластичною трубкою з ізоляційного матеріалу. Трубка

повинна бути закріплена в корпусних частинах електроінструменту, вона повинна виступати з них на довжину не менше п'яти діаметрів кабелю. Не приєднуйте трубку до кабелю поза інструментом. Для підключення однофазного електроінструменту шланговий кабель повинен мати три жили: дві для живлення, одна для заземлення. Для підключення трифазного електроінструменту використовується чотирижильний кабель, один з яких використовується для заземлення. Ці вимоги поширюються тільки на електроінструменти з таким корпусом, який повинен бути заземлений. Контактні металеві частини електроінструменту класу I, які можуть потрапити під напругу в разі пошкодження ізоляції, повинні бути підключені до клема заземлення. Електроінструменти II і III класів не заземлені. Заземлення корпусу електроінструмента повинно здійснюватися за допомогою спеціального жильного кабелю живлення, який не може бути одночасно провідником робочого струму. Використовувати для цього нульовий робочий провід заборонено.

Штепсельна вилка повинна мати відповідну кількість робочих та один заземлюючий контакт. Конструкція вилки повинна забезпечувати раннє випередження замикання заземлюючого контакту під час увімкнення та сповільнене розмикання під час вимкнення. Конструкція вилки електроінструменту III класу повинна виключати підключення до розеток з напругою понад 42 В. Працівники, допущені до роботи з електроінструментом, повинні попередньо пройти інструктаж і перевірку знань з безпечного виконання робіт з електроінструментом. До роботи з електроінструментом I класу в приміщеннях підвищеної небезпеки та поза приміщеннями допускаються працівники з II групою з електробезпеки. Для роботи з електроінструментом II і III класу достатньо першої групи з електробезпеки.

Під час кожної чергової подачі електроінструменту на заводі особа, відповідальна за збереження та справність електроінструменту, у присутності працівника повинна перевірити:

- комплекtnість і надійність кріплення деталей;
- справність частин корпусу, ручок і кришок щіткотримачів, наявність захисних кожухів та їх справність (зовнішній огляд);
- надійність вимикача;
- задовільна робота на холостому ході.

В електроінструменті I класу, крім того, повинна бути перевірена справність контуру заземлення між його корпусом і заземлюючим контактом вилки. Працівникові повинні бути видані засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, калоші, килими) або окремий трансформатор, або перетворювач з окремими обмотками, або захисні комутаційні апарати. Забороняється використовувати електроінструмент, який не відповідає хоча б одній із перелічених вимог, а також електроінструмент із простроченим періодичним плановим оглядом.

Безпосередньо перед початком роботи необхідно перевірити:

- відповідність напруги та частоти струму електричної мережі напрузі та частоті струму електродвигуна електроінструмента, зазначеним у таблиці (паспортні дані);
- надійність фіксації робочих виконавчих інструментів (свердла, абразивні круги, циркулярні пилки, торцеві ключі та ін.).

При роботі з електроінструментом I класу використання засобів індивідуального захисту (діелектричних рукавичок, калош, килимів тощо) є обов'язковим, за винятком:

- якщо тільки один електроінструмент отримує живлення від окремого запобіжного трансформатора;
- якщо електроінструмент підтримує живлення від частотного перетворювача з окремими обмотками;
- якщо електроінструмент підтримує живлення через захисно-вимикальний пристрій.

У приміщеннях без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом достатньо використовувати діелектричні рукавички, а в приміщеннях із струмопровідною підлогою - також діелектричні калоші або килими.

Електроінструменти II і III класів допускаються до роботи без застосування засобів індивідуального захисту в приміщеннях без підвищеної безпеки працівників від ураження електричним струмом. У посудинах, апаратах та інших металоконструкціях в умовах обмеженого руху та виходу з них дозволяється працювати електроінструментом I і II класів за умови живлення одного електроінструменту від автономної мотор-генераторної установки, секційної. запобіжний трансформатор або перетворювач частоти з секційними обмотками, а також електроінструмент III класу. При цьому джерело живлення (трансформатор, перетворювач тощо) слід розміщувати поза зазначеними посудинами, а вторинне коло джерела не заземлювати.

Забороняється вмикати електроінструмент напругою до 12 В до електричної мережі загального користування через автотрансформатор, резистор або потенціометр. Забороняється натягувати, скручувати і згинати кабель, ставити на нього вантаж, а також допускати перетин кабелю електроінструмента з кабелями, кабелями і шлангами газозварювального обладнання. Кабель електроінструменту необхідно захищати від випадкового пошкодження та контакту з гарячими, мокрими та жирними поверхнями.

Забороняється вставляти робочу частину свого електроінструмента в патрон і виймати його з патрона, а також регулювати інструмент, не від'єднавши його від електромережі за допомогою вилки і повністю зупинивши обертові частини. Працівникам, які працюють з електроінструментом, забороняється самостійно розбирати і ремонтувати інструмент, кабель, штепсельні з'єднання та інші частини, якщо ці роботи не входять до їх посадових обов'язків. Не знімайте шнур або тирсу під час роботи електроінструменту. Після повної зупинки електроінструменту слід видаляти стружку спеціальними гачками або щітками.

Забороняється працювати електроінструментом з підвісних драбин. Під час роботи електродрилем предмети, які свердлять, повинні бути надійно закріплені. Не торкайтеся ріжучого інструменту, що обертається. Забороняється обробляти замерзлі та вологі частини електроінструментом. Забороняється працювати електроінструментом, не захищеним від падінь і бризок і не мають розпізнавальних знаків (крапля в трикутнику або дві краплі), в умовах дії крапель і бризок, а також на відкритих майданчиках під час снігопад, дощ. Працювати таким електроінструментом поза приміщенням дозволяється тільки в суху погоду, а під час снігопаду або дощу - під навісом на сухій землі або настилі.

Забороняється залишати електроінструмент, підключений до електромережі, без нагляду, а також передавати його особам, які не мають права працювати з ним. У разі раптової зупинки електроінструмента (втрата напруги, заклинювання рухомих частин тощо) його необхідно вимкнути вимикачем. При переміщенні електроінструмента з одного робочого місця на інше, а також під час перерви в роботі та її закінчення електроінструмент повинен бути відключений від мережі вилкою.

Забороняється продовжувати роботу з електроінструментом при найменших ознаках його несправності або якщо той, хто працює з ним, раптом помітив хоча б слабку дію електричного струму: в обох випадках роботу необхідно знову припинити, а несправний електроінструмент необхідно здати на огляд і ремонт.

Забороняється працювати з електроінструментом, термін служби якого закінчився, а також за наявності хоча б однієї з наступних несправностей:

- пошкодження штепсельного з'єднання, кабелю або його захисної трубки;
- пошкодження кришки вимикача;
- ненадійна робота вимикача;

- іскріння щіток на колекторі, що супроводжується круговим вогнем на його поверхні;
- підтікання масла з коробки передач або вентиляційних каналів;
- поява диму або специфічного запаху, характерного для ізоляції, що горить;
- поява підвищеного шуму, стуку, вібрації;
- знос або поява тріщин на корпусній частині, ручці, захисній огорожі;
- пошкодження робочої частини інструменту;
- зникнення електричного зв'язку між металевими частинами корпусу і нульовим захисним штирем вилки.

Електроінструмент, роздільні трансформатори безпеки та знижувальні трансформатори, перетворювачі частоти, захисно-вимикальні пристрої та кабелі-подовжувачі підлягають періодичній перевірці не рідше як 1 раз на 6 місяців.

Періодичному огляду підлягають:

- зовнішній огляд;
- перевірка холостого ходу не менше 5 хвилин;
- вимірювання опору ізоляції мегомметром при напрузі 500 В протягом 1 хв. якщо вимикач увімкнено, в цьому випадку опір ізоляції має бути не менше 1 МОм.
- перевірка справності кола заземлення (для електроінструмента класу I).

В електроінструменті вимірюють опір обмоток і струмопровідного кабелю окремого корпусу і зовнішніх металевих частин; в трансформаторах - між первинною і вторинною обмотками, а також між оболонкою обмотки і корпусом. Цілісність заземлення перевіряють за допомогою приладу напругою не більше 12 В, один контакт якого приєднується до заземлюючого контакту вилки, а інший - до металевої частини інструменту, до якої можна торкатися. (наприклад, до веретена). Електроінструмент вважається справним, якщо прилад показує наявність струму.

Після капітального ремонту електроінструменту або ремонту його електричної частини він підлягає випробуванню в такому обсязі та порядку:

- перевірка правильності складання зовнішнім оглядом і триразове ввімкнення та вимикання вимикача електроінструменту, підключеного до номінальної напруги, при цьому не повинно бути збоїв пуску та зупинки;
- перевірка справності контуру заземлення (для електроінструменту 1 класу безпеки);
- випробування ізоляції на електричну міцність;
- введення в робочий режим не менше 30 хв.

Після капітального ремонту електроінструмента опір ізоляції між струмоведучими частинами та корпусом або деталями для основної ізоляції повинен бути не менше 2 МОм, для додаткової - 5 МОм, для посиленої - 7 МОм. Перевірку електричної міцності ізоляції електроінструменту слід проводити змінним струмом напругою 50 Гц:

- для електроінструменту I класу безпеки - 1000 В,
- клас безпеки II - 2500 В,
- клас безпеки III - 400 В.

Електроди випробувальної установки накладають на один з контактів вилки і на шпindel ь або металевий корпус або на фольгу, накладену на корпус електроінструмента з ізоляційного матеріалу (вимикач повинен бути армованим). Ізоляція електроінструменту повинна витримувати вказану напругу протягом 1 хв. Інструмент і допоміжне обладнання до нього необхідно зберігати в сухому місці, обладнаному стелажми, полицями, скринями, що надійно забезпечує збереження його електроживлення, відповідно до вимог до умов зберігання, зазначених у паспорті електроінструменту. Забороняється складати електроінструменти в два і більше рядів без спеціальної упаковки. При транспортуванні електроінструменту необхідно вжити заходів, щоб не пошкодити його. Забороняється перевозити електроінструмент разом з металевими деталями та виробами.

Переносні знижувальні трансформатори, ізольовані запобіжні трансформатори та перетворювачі повинні мати кабель із вилкою на стороні високої напруги для підключення до мережі. Довжина кабелю не повинна перевищувати 2 м. Кінці кабелю слід прикріпити до затискачів трансформатора за допомогою пайки (зварювання) або надійного болтового з'єднання. Сторона нижчої напруги трансформатора повинна мати гнізда для вилки. Корпуси індивідуальних запобіжних трансформаторів, понижуючих трансформаторів і перетворювачів частоти в залежності від режиму нейтралі мережі, що живить первинну обмотку, повинні бути заземлені або занулені відповідно до вимог. Вторинна обмотка понижуючих трансформаторів без окремих обмоток повинна бути заземлена.

Не допускається заземлення вторинної обмотки трансформаторів або перетворювачів частоти з роздільними обмотками. Забороняється заносити всередину топків і барабанів котлів, конденсаторів турбін, баків трансформаторів та інших місткостей трансформатор або перетворювач частоти, до якого приєднаний електроінструмент.

Під час роботи в підземних спорудах (колодязях, камерах тощо), а також при земляних роботах трансформатори слід розміщувати поза цими спорудами, котлованами. Підключення (відключення) допоміжного обладнання (трансформаторів, перетворювачів частоти, захисно-відключаючих пристроїв тощо) до мережі, його перевірка, а також усунення несправностей повинні проводитися спеціально навченими працівниками, які мають III групу. При введенні в експлуатацію, а також після проведення капітального ремонту і індивідуальних запобіжних трансформаторів, перетворювачів частоти і запобіжно-захисних пристроїв випробування ізоляції їх обмоток повинні проводитися почергово підвищеною (випробувальною) напругою на кожній з обмоток. При цьому решта обмоток повинні бути електрично з'єднані з заземленим корпусом і магнітопроводом. Тривалість тесту 1 хв.

Випробувальна напруга повинна набувати наступних значень:

- 550 В – при номінальній напрузі вторинної обмотки трансформатора і перетворювача частоти до 42 В;

- 1350 В – при номінальній напрузі відносно первинної та вторинної обмоток трансформатора і перетворювача частоти струму (127 – 220) В та напрузі електромережі захисного комутаційного апарату (127 – 220) В;

- 1800 В – за номінальної напруги відповідно первинної та вторинної обмоток трансформатора і перетворювача частоти струму (380 – 400) В і напруги мережі живлення захисно-вимикального пристрою (380 – 400) В.

Результати перевірок і випробувань електроінструмента, знижувальних і роздільних трансформаторів безпеки, перетворювачів частоти, захисно-вимикальних пристроїв та кабелів слід заносити в «Журнал обліку, перевірки та випробування електроінструмента, трансформаторів, перетворювачів частоти та переносних світильників» за формою. Журнал повинен вести призначений наказом по підрозділу, відповідальному за збереження і справність електроінструмента. На корпусах електроінструмента слід зазначити інвентарні номери, а також дати наступних перевірок, а на знижувальних та роздільних трансформаторах безпеки, перетворювачах частоти та захисно-вимикальних пристроях – інвентарні номери і дати наступних вимірювань опору ізоляції.

4.3. Вимоги до ремонту та експлуатації промислових накопичувачів електроенергії

При обслуговуванні та ремонті акумуляторів необхідно дотримуватися таких правил:

- для зняття та транспортування АКБ необхідно одягати спеціальний одяг, гумові фартухи, чоботи та рукавички, оскільки електроліт руйнівню діє на одяг та взуття та може спричинити опіки шкіри;

- при попаданні рідини з акумулятора на шкіру необхідно змити її рясним струменем 10% розчину солі або нашатирного спирту у воді;

- після роботи з акумуляторами та перед їжею необхідно ретельно мити руки гарячою водою з милом;

- у робочих приміщеннях, пов'язаних з обслуговуванням і ремонтом акумуляторних батарей, забороняється палити, а також зберігати харчові продукти та харчові продукти;

- не дозволяється транспортувати акумулятори незалежно від їх кількості вручну;

- батареї повинні бути чистими; періодично (кожні 15 днів) протирати їх поверхню чистою ганчіркою, злегка змоченою в 10% розчині аміаку для нейтралізації сірчаної кислоти, а потім ретельно протирати сухою ганчіркою;

- в робочих батареях слід систематично очищати отвори в пробках, так як при їх засміченні всередині батарей створюється надмірний тиск газів, що може призвести до здуття і руйнування їх стінок;

- затискачі акумулятора і клеми проводів необхідно очистити від оксидів і змастити технічним вазеліном для запобігання подальшому окисленню. Контакт між затискачами наконечників проводів і контактами акумуляторів батареї повинен бути досить щільним, тому що при його ослабленні наконечники можуть зісковзнути з контактів, викликати іскри, короткі замикання і, як наслідок, швидку розрядку акумулятора. акумулятор. акумулятор і викривлення його пластин;

- при роботі з акумуляторною батареєю використовувати тільки переносний світильник. Не використовуйте сірники, свічки, смолоскипи тощо, тому що газ, що виділяється під час роботи акумулятора, легко запалюється і може спричинити вибух;

- робочі столи, на яких проводиться ремонт акумуляторів, повинні мати рівну поверхню без зазорів і тріщин і бути покриті матеріалом, стійким до дії сірчаної кислоти;

- приміщення, де обслуговують акумуляторні батареї, повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує відведення газів, що виділяються під час роботи;

- електроліт готують, вливаючи тонкою цівкою сірчану акумуляторну кислоту в дистильовану воду. Не наливайте воду в сірчану кислоту, тому що через більшу щільність сірчаної кислоти її розчинення у воді буде текти бурхливо і супроводжуватись розбризкуванням, що може викликати сильні опіки шкіри та очей. Електроліт найкраще готувати в ебонітовому або пластиковому посуді. Допускається приготування електроліту в скляній тарі в невеликій кількості (до 5 л) і за умови дотримання заходів безпеки, оскільки скло може не витримати нагрівання при розчиненні сірчаної кислоти;

- не нахиляйтеся до використовуваних батарейок, оскільки гази, що виходять із вентиляційних отворів, можуть подразнювати слизову оболонку очей і дихальних шляхів;

- підключати акумуляторні батареї, що знаходяться під зарядом, необхідно за допомогою щільно прилягаючих свинцевих затискачів, які виключають можливість іскріння внаслідок погіршення контакту;

- забороняється підключати батареї за допомогою сторонніх провідників, дроту тощо.

4.4. Вимоги до вентиляції виробничих приміщень з промисловими накопичувачами електроенергії. Розрахунок вентиляції акумуляторної

Розуміння небезпеки, яку може становити акумулятор, може допомогти в його безпечній експлуатації. Сьогодні найбільш поширений свинцево-кислотний акумулятор. Широко використовується в різних галузях електроенергетики як аварійне і резервне джерело живлення, а також для накопичення надлишкової електроенергії. Свинцево-кислотний акумулятор —

хімічне джерело струму, що складається з позитивного електрода, діючою речовиною якого є двоокис свинцю PbO_2 , і негативного електрода, активною речовиною якого є губчастий свинець Pb . Якщо обидва електроди помістити в посудину з електролітом (розчин сульфатної кислоти H_2SO_4 у дистильованій воді), то між електродами виникає різниця потенціалів. Вплив хімічних речовин в акумуляторах може спричинити проблеми зі здоров'ям, навіть якщо немає прямого фізичного контакту з кислотою. Небезпека свинцю для людини визначається його значною токсичністю та здатністю накопичуватися в організмі. Також свинець може потрапити в організм людини з питною водою, атмосферним повітрям, при палінні, при випадковому попаданні в стравохід шматочків свинцевмісної фарби. Свинцево-кислотні акумулятори містять сірчану кислоту і велику кількість свинцю.

Свинець є високотоксичним металом, який спричиняє низку негативних наслідків для здоров'я. Частіше це проявляється у вигляді неврологічних ефектів. Зміна психомоторних реакцій пов'язана з підвищенням надходженням свинцю в організм. Вплив свинцю проявляється у зміні рухової активності, координації рухів, часу зорової та слухомоторної реакції, слухового сприйняття та пам'яті.

Як правило, обслуговуючий персонал ПНЕ може піддаватися впливу небезпечних хімічних речовин у результаті обслуговування або ремонту акумулятора. Під час ремонту пошкодження можуть бути викликані потраплянням електроліту на відкриті ділянки шкіри, обличчя, очей, при недотриманні вимог до одягу, в якому необхідно проводити обслуговування. Найчастіше шкода може бути викликана вдиханням парів електроліту або кислоти в результаті неправильної вентиляції акумуляторного приміщення. Тому постає питання правильного розрахунку вентиляції акумуляторного приміщення.

Для ефективної роботи системи вентиляції кількість припливного повітря $G_{\text{пр.}}$ має відповідати кількості повітря $G_{\text{вд.}}$, що видаляється, різниця між ними має бути мінімальною.

В приміщеннях, повітря яких забруднено шкідливими парами, газами або пилом, кількість припливного повітря $C_{\text{пр.}}$, м³/год, необхідного для розбавлення шкідливих виділень до допустимих концентрацій, розраховують за формулою:

$$G_{\text{пр.}} = \frac{W}{C_{\text{вд.}} - C_{\text{п.}}}, \quad (4.1)$$

де W – маса шкідливих виділень у приміщенні за одиницю часу, мг/год;

$C_{\text{вд.}}$, $C_{\text{пр.}}$ – концентрація шкідливих речовин в видаленому і припливному повітрі, мг/м³.

Об'єм повітря, що видаляється, при розрахунку місцевої витяжної вентиляції визначається з виразу:

$$G_{\text{м.}} = F \cdot v \cdot 3600, \quad (4.2)$$

де F – площа відкритого перерізу витяжного пристрою, м²;

v – швидкість руху всмоктуваного повітря. Залежно від токсичності і летючості газів та парів $v = 0,5 \div 1,7$ м/с.

При невеликій кількості шкідливих речовин, що виділяються, або якщо вона (кількість) важко визначається, розрахунок повітрообміну проводять за виразом:

$$K = \pm \frac{G}{V}, \quad (4.3)$$

де K – кратність повітрообміну;

G – кількість повітря, що подається (+) за 1 годину в приміщення чи вилучається (-) з нього, м³/год;

V – об'єм приміщення, м³.

Вибравши кратність з довідників з проектування промислових будівель, можна визначити G .

Приведемо приклад розрахунку і визначимо необхідний повітрообмін та його кратність для вентиляційної системи акумуляторного приміщення, який має довжину 30 м, ширину 8 м, висоту 5 м. У повітряне середовище акумуляторної виділяється пил в кількості $W=120$ г/год (для даного виду пилу ГДК=4 мг/м³, концентрація пилу у робочій зоні $C_{рз.}=2,8$ мг/м³, в припливному повітрі $C_{п.}=0,3$ мг/м³, концентрація пилу у повітрі, що видаляється з цеху, дорівнює концентрації її у робочій зоні ($C_{вд.}=C_{рз.}$), тобто пил рівномірно розподілений у повітрі).

1) Визначаємо об'єм акумуляторної: $V = 30 \cdot 8 \cdot 5 = 1200$ м³.

2) Визначимо необхідний повітрообмін:

$$G_{пр.} = G_{вд.} = G_{м.} + \frac{W}{C_{рз.} - C_{п.}};$$

$$G_{пр.} = 1500 + \frac{120000}{2,8 - 0,3} = 49500 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

3) Визначимо кратність повітрообміну:

$$K = \pm \frac{G}{V} = \frac{49500}{1200} = 41,25 \text{ 1 / год.}$$

Тобто, за одну годину повітря у приміщенні акумуляторної має обмінюватися 41 раз.

4.5. Висновки до п'ятого розділу

Отже, врахування та виконання запропонованих заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризики травматизму та професійних захворювань під час експлуатації, електромонтажу та обслуговування промислових накопичувачів електроенергії.

У цьому розділі також розглядаються питання забезпечення пожежної безпеки при експлуатації накопичувачів енергії.

Для забезпечення охорони праці та пожежної безпеки проектом передбачено:

- використання технічно досконалого обладнання;
- розміщення обладнання, що забезпечує його вільне обслуговування;
- використання надійних заземлювачів з нормованими значеннями опорів;
- використання під час будівництва та монтажу машин і механізмів, конструкція яких включає принципи охорони праці;
- виконання будівельно-монтажних робіт згідно технологічних карт.

Будівництво ділянок ліній поблизу діючих електроустановок, які перебувають під напругою, необхідно проводити з дотриманням нормованих відстаней до робочих машин і механізмів, їх належного заземлення та інших заходів, що забезпечують безпечне виконання робіт.

Для забезпечення безпеки робіт з обслуговування обладнання, передбачується огороження струмоведучих частин, необхідні ізоляційні відстані, механічні блокування, пристрої захисного заземлення, системи дистанційного управління. Все обладнання повинно бути підібрано таким чином, щоб воно було стійким до електродинамічних і термічних впливів струмів короткого замикання, а автоматичні вимикачі мали необхідну відключаючу здатність. Вибране ідеальне сучасне надійне обладнання повинно мати низьку ймовірність займання.

Важливою умовою стабільної роботи та безпечного обслуговування ПНЕ є наявність в акумуляторному приміщенні справної системи вентиляції, здатної забезпечити необхідний повітрообмін.

ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота була розроблена з метою аналізу впливу використання промислових накопичувачів електроенергії в розподільних електричних мережах, для підвищення ефективності функціонування операторів системи розподілу.

Системи накопичення енергії довели свою комерційно життєздатну технологію зберігання енергії. До недавнього часу висока вартість і низька ефективність передачі в обох напрямках перешкождали масовому розгортанню промислової системи накопичення електроенергії. Проте збільшення використання літій-іонних акумуляторів у побутовій електроніці та електромобілях призвело до розширення глобальних виробничих потужностей, що призвело до значного зниження витрат, які, як очікується, триватимуть протягом наступних кількох років. У світі ефективність встановлення ПНЕ була доведена на практиці, як для невеликих установок за лічильником, так і для великомасштабних розгортань на рівні мережі. Промислові системи накопичення електроенергії можна використовувати для вирішення проблем, пов'язаних із широкомасштабною інтеграцією відновлюваної енергії в мережі.

По-перше, ПНЕ технічно краще підходять для регулювання частоти, ніж традиційні обертові резерви від електростанцій.

По-друге, відсутність виробництва електроенергії з відновлюваних джерел часто не задовольняє попит на електроенергію, надлишок електроенергії слід або скоротити, або надлишок електроенергії можна зберігати в ПНЕ, для подальшого споживання, коли генерація відновлюваної енергії низька, а попит на електроенергію високий.

Загалом ПНЕ можуть підвищити ефективність операторів системи розподілу. Досягнення бажаних покращень, таких як економія енергії, зменшення витрат на розподіл, оптимальне управління попитом і управління якістю електроенергії, або вдосконалення розподільної мережі шляхом

впровадження ПНЕ може бути виконано шляхом оптимального розміщення ПНЕ, вибору розмірів і роботи в розподільній мережі. Оптимальне розміщення промислових систем накопичення електроенергії, а також їх розміри та експлуатація є дуже важливими для більшої інтеграції ВДЕ в розподільчу мережу та, таким чином, для зменшення викидів парникових газів.

Проаналізувавши вимоги і правила роботи з акумуляторними батареями, а також ОП і ПБ, можна сказати, що цей об'єкт праці для електротехнічного персоналу є досить небезпечним не тільки з огляду на роботу під напругою, але і ризиком уражень різними видами хімікатів, тому при роботі з ПНЕ необхідно постійно дотримуватися всіх правил і вимог. Важливо відзначити, що слід враховувати параметри акумуляторного приміщення, а саме достатні розміри, ефективну вентиляцію та наявність кількох приміщень для обслуговування, ремонту, експлуатації та зберігання акумуляторних установок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. K. Clement, E. Haesen, and J. Driesen, "Stochastic analysis of the impact of plug-in hybrid electric vehicles on the distribution grid," in Proc. CIRED 20th Int. Conf. Exhib. Electric. Distribution - Part 2, 2009, pp. 1–4. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/5371206>
2. J. Delgado, R. Faria, P. Moura, and A. T. de Almeida, "Impacts of plug-in electric vehicles in the portuguese electrical grid," *Transp. Res. Part D Transport Environ.*, vol. 62, pp. 372–385, Jul. 2018. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916306095>
3. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їх технологічне забезпечення // *Технічна електродинаміка*. – 2015. – №6. – С. 44–50. – <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/61922>
4. C. Kaloudas and R. Shaw, "Long-term forecasting of reactive power demand in distribution networks," *CIRED-Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 2406-2410, Oct. 2017. – https://www.researchgate.net/publication/321205011_Long-term_forecasting_of_reactive_power_demand_in_distribution_networks
5. R. Moreira, G. Strbac, P. Papadopoulos and A. Laguna, "Business case in support for reactive power services from distributed energy storage," *CIRED-Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 1609-1613, Oct. 2017. – https://www.researchgate.net/publication/321205552_Business_case_in_support_for_reactive_power_services_from_distributed_energy_storage
6. C. K. Das, O. Bass, G. Kothapalli, T. S. Mahmoud, and D. Habibi, "Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, pp.

- 1205–1230, Aug. 2018. –
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118301606>
7. M. Stecca, L. R. Elizondo, T. B. Soeiro, P. Bauer and P. Palensky, "A Comprehensive Review of the Integration of Battery Energy Storage Systems Into Distribution Networks," in *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, vol. 1, pp. 46-65, 2020, doi: 10.1109/OJIES.2020.2981832. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/9040552>
 8. G. Castagneto Gissey, P. E. Dodds, and J. Radcliffe, "Market and regulatory barriers to electrical energy storage innovation," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 781–790, Feb. 2018. –
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211731331X>
 9. K. K. Zame, C. A. Brehm, A. T. Nitica, C. L. Richard, and G. D. Schweitzer, "Smart grid and energy storage: Policy recommendations," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 1646–1654, Feb. 2018. –
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310663>
 10. G. Zubi, R. Dufo-López, M. Carvalho, and G. Pasaoglu, "The lithium ion battery: State of the art and future perspectives," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 89, pp. 292–308, Jun. 2018. –
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118300728>
 11. О. Буславець, А. Квицинський, Л. Кудацький, С. Межений та Л. Мойсеєнко, "Типові графіки електричних навантажень у 3D зображенні," *Енергетика та електрифікація*, №. 2, с. 2-12, 2016.
 12. Choton K. Das, Octavian Bass, Ganesh Kothapalli, Thair S. Mahmoud, Daryoush Habibi, "Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 91, pp. 1205-1230, 2018. –
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.068>.

13. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці [П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, В. В. Тептя]: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 212 с. – ISBN 978-966-641-576-2.
14. V. Kulyk, O. Burykin, and V. Pirnyak, "Optimization of the placement of reactive power sources in the electric grid based on modeling of its ideal modes," *Technology audit and production reserves*, vol. 40, no. 2/1, pp. 59-65, 2018. – <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/129237>
15. E. Telaretti and L. Dusonchet, "Stationary battery technologies in the U.S.: Development Trends and prospects," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, pp. 380–392, Aug. 2017. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116307882>
16. N. D. Hatziargyriou, D. Škrlec, T. Capuder, P. S. Georgilakis, and M. Zidar, "Review of energy storage allocation in power distribution networks: Applications, methods and future research," *IET Gener. Transmiss. Distrib.*, vol. 10, no. 3, pp. 645–652, 2016. – https://www.researchgate.net/publication/282582776_Review_of_energy_storage_allocation_in_power_distribution_networks_Applications_methods_and_future_research
17. Y. Yang, S. Bremner, C. Menictas, and M. Kay, "Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, pp. 109–125, 2018. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118301436>
18. H. Saboori, R. Hemmati, S. M. S. Ghiasi, and S. Dehghan, "Energy storage planning in electric power distribution networks. A state-of-the-art review," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 79(C), pp. 1108–1121, 2017. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117308080>
19. I. Alsaidan, A. Alanazi, W. Gao, H. Wu, and A. Khodaei, "State-of-the-art in microgrid-integrated distributed energy storage sizing," *Energies*, vol. 10, no. 9, p. 1421, 2017. – <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/9/1421>

20. Лежнюк П. Д. Керування режимами секціонованих розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії / П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко, І. О. Гунько // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2020. – № 2. – С. 42–49.
21. Ziad Melhem Electricity Transmission, Distribution and Storage Systems / Woodhead Publishing / 31st October 2013 Page Count: 512
22. International Journal of Electrical Power & Energy Systems - Editorial Board / Editor-in-Chief Vladimir Terzija
23. Electricity 1st Edition / Author: Leslie Basford / Imprint: Made Simple
24. Published Date: 1st January 1968 Page Count: 240.
25. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
26. Journal of Energy Storage / Editor-in-Chief: Professor Dirk Uwe Sauer
27. The Electricity Journal / Editor: Richard Cohen
28. Комплексні енергогенеруючі вузли в об'єднаній енергетичній системі / І. І. Червоненко, К. В. Махотіло, В. С. Кулешов, К. В. Кулешова // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 2. – С. 115–123.
29. Згуровець О. В. Розвиток моделей та засобів забезпечення стабільного функціонування вітрових і сонячних електростанцій в енергосистемах : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.01 "Енергетичні системи та комплекси" / Згуровець Олександр Васильович ; НАН України, Ін-т заг. енергетики. – Київ, 2019. – 20 с.
30. Вплив відновлюваних джерел енергії на технічний стан обладнання розподільних мереж / О. С. Рубаненко, Є. А. Бондаренко, І. О. Гунько, А. М. Коваль // Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки. – 2018. – Т. 1, № 6. – С. 204–213.
31. Вимоги щодо забезпечення екологічних факторів при впровадженні технологій фотоенергетики в Україні / В. Ф. Резцов, Т. В. Суржик, В. О. Пундєв [та ін.] // Відновлювана енергетика. – 2019. – № 4. – С. 29–36.

32. Ветровые и солнечные электростанции / А. М. Манилов, К. А. Улитов, А. С. Богомольный, А. В. Давыдюк // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2019. – № 3. – С. 38–43.
33. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці // [П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, В. В. Тептя]: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 212 с.
34. В. В. Кулик, О. Б. Бурикін, К. І. Кравцов, та В. О. Лесько, "Автоматизована інформаційно-розрахункова система аналізу режимів розподільних електричних мереж," Праці Інституту електродинаміки НАНУ. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск, с. 121-130, 2012.
35. Ю. С. Железко, Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов, Москва, Российская Федерация: ENAS, 2009.
36. Бондаренко Є. А, В. М. Кутін, П. Д. Лежнюк Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 121 с.
37. Гандзюк, М. П. Основи охорони праці [Текст] : підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський ; за ред. М. П. Гандзюка ; МОН України. – 4-е видання. – К. : Каравела, 2008. – 384 с. – ISBN 966-8019-01-6.
38. Купчик М. П., Гандзюк М. П., Степанець І Ф., Вендичанський В. Н., Литвиненко А. М., Іваненко. О. В. Основи охорони праці. - К.: Основа, 2000. - 416 с.
39. Стеблюк М. І. Цивільна оборона. К.: Знання, 2006. - 487 с.
40. Шоботов В. М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. 2-ге, перероб. — К.: Центр навчальної літератури, 2006. — 438 с.
41. В. Г. Холмский, "Оптимизация потокораспределения в замкнутых электрических сетях с высокой степенью неоднородности," Электричество, №9, с. 16-21, 1965

42. Івашків І. М. Економічні передумови використання відновлювальних енергетичних ресурсів на вітчизняних підприємствах в умовах розвитку зеленої енергетики / І. М. Івашків, Л. С. Стефанишин, С. В. Король // *Агросвіт*. – 2020. – № 13/14. – С. 61–65.
43. Кузнецов М. П. Оптимальна побудова електроенергетичного комплексу на основі відновлюваних джерел енергії / М. П. Кузнецов, О. А. Мельник // *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України* : зб. наук. пр. – Київ, 2018. – Вип. 51. – С. 28–32.
44. *Competitive Electricity Markets 1st Edition* / Fereidoon Sioshansi / Imprint: Elsevier Science / Published Date: 4th February 2008 Page Count: 624.
45. F. Hinz and D. Moest, "Techno-economic Evaluation of 110 kV Grid Reactive Power Support for the Transmission Grid," *IEEE Transactions on Power Systems*, no. 99, 2018.
46. В.В. Кулик та В.М. Пірняк, "Оптимізація перетікань реактивної енергії в розподільних електричних мережах з використанням принципу найменшої дії," *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №6, с. 71-79, 2017.
47. V. Kulyk, O. Burykin, and V. Pirnyak, "Optimization of the placement of reactive power sources in the electric grid based on modeling of its ideal modes," *Technology audit and production reserves*, vol. 40, no. 2/1, pp. 59-65, 2018.
48. В.В. Кулик та В.М. Пірняк, "Оптимізація розміщення джерел реактивної потужності в електричній мережі з урахуванням активних обмежень," *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, Том 29(68), Ч. 2, № 5, с. 108-112, 2018.
49. В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, та В.М. Пірняк, "Комплексне оцінювання ефективності встановлення додаткових джерел реактивної потужності у розподільних електричних мережах," *Вісник Київського національного*

університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки, № 4 (124), с. 103-111, 2018.

50. П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, та В. В. Тептя, Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014.
51. П. Д. Лежнюк, О. Д. Демов, та Ю. Ю. Півнюк, "Поетапний розрахунок компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах із використанням відносних спадів напруги," Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки, вип. 30, т. 2, с. 108-115, 2015.
52. Б. С. Стогній, "Сталий розвиток енергетики та інтелектуальні енергетичні системи," Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск, с. 6-10, 2010.
53. О. В. Кириленко та А. В. Праховник, "Енергетика сталого розвитку : виклики та шляхи побудови," Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск, с. 10–16, 2010.
54. В. В. Кулик та В. М. Пірняк, "Оптимізація перетікань реактивної енергії в розподільних електричних мережах з використанням принципу найменшої дії," Вісник Вінницького політехнічного інституту, №6, с. 71-79, 2017.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ
ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Використання промислових накопичувачів електроенергії для підвищення ефективності функціонування операторів системи розподілу

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

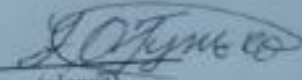
Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 90,17 Схожість 9,83

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  Гуцько І.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

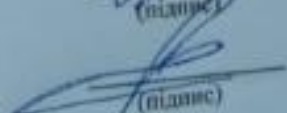
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Харченко О.О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кудик В.В.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б
Технічне завдання МКР

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.
 (наук. ст., спеціаліст та проф.)

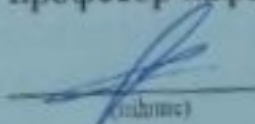

 (підпис)
 «17»  2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

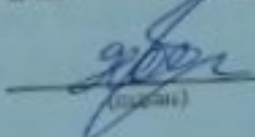
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
**«ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ
 ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
 ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛУ»**

08-13.МКР.012.00.004 ТЗ

Керівник проекту: д.т.н., доц.,
 професор кафедри ЕСС


 (підпис) Кулик В.В.

Виконавець: ст., групи ЕСМ-21м


 (підпис) Харченко О.О.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) актуальність досліджень обумовлена тим, що сучасні електричні мережі були спроектовані відповідно до старих вимог, які передбачали, що більшу частину необхідної енергії забезпечували великі генеруючі станції, підключені до розподільчої мережі. На сьогодні графік навантаження стало прогнозувати складніше, у зв'язку з його нерівномірністю і підвищенням попиту на ВДЕ.

б) наказ ректора ВНТУ № 203 від 14 вересня 2022 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) мета –підвищення ефективності функціонування електричних мереж, шляхом запровадження методів та алгоритмів оптимізації.;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи підвищення енергоефективності розподільних мереж з використанням промислових накопичувачів енергії, що забезпечить виконання основних вимог щодо надійності електропостачання, якості електроенергії та економічності її транспортування.

3. Джерела розробки

1. В.В. Кулик та В.М. Пірняк, "Оптимізація перетікань реактивної енергії в розподільних електричних мережах з використанням принципу найменшої дії," Вісник Вінницького політехнічного інституту, №6, с. 71-79, 2017.

2. V. Kulyk, O. Burykin, and V. Pirnyak, "Optimization of the placement of reactive power sources in the electric grid based on modeling of its ideal modes," Technology audit and production reserves, vol. 40, no. 2/1, pp. 59-65, 2018.

3. В.В. Кулик та В.М. Пірняк, "Оптимізація розміщення джерел реактивної потужності в електричній мережі з урахуванням активних обмежень," Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, Том 29(68), Ч. 2, № 5, с. 108-112, 2018.

4. В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, та В.М. Пірняк, "Комплексне оцінювання ефективності встановлення додаткових джерел реактивної потужності у розподільних електричних мережах," Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки, № 4 (124), с. 103-111, 2018.

5. П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, та В. В. Тептя, Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014.

6. П.Д. Лежнюк, О.Д. Демов, та Ю.Ю. Півнюк, "Поетапний розрахунок

компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах із використанням відносних спадів напруги," Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки, вип. 30, т. 2, с.108-115, 2015.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

У роботі розглянуто наступні питання.

- Огляд літератури з питань перетікання активної потужності в розподільчій мережі;
- Розрахунок оптимальної ємності накопичувача, визначення місць встановлення ПНЕ в розподільчій мережі;
- Дослідження економічного ефекту використання промислових накопичувачів енергії;
- Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники розвитку електричної мережі із впровадженням промислових накопичувачів енергії, на основі їх аналізу зробити висновок щодо доцільності реалізації розробленого проекту.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ Етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		Початок	Кінець	
1	Розроблення технічного завдання	03.09.22	06.09.22	Формування технічного завдання
2	Електротехнічна частина	08.09.22	02.10.22	Розділ 1-2
3	Техніко-економічна частина	27.10.22	04.11.22	Розділ 3
4	Охорона праці	04.11.22	12.11.22	Розділ 4
	Оформлення пояснювальної записки	20.11.22	23.11.22	Пояснювальна записка
5	Виконання графічної частини та оформлення презентації	24.11.22	30.12.22	Плакати, презентація
6	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	01.12.22	14.12.22	

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

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

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

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

9. Вимоги до оформлення МКР

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

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

Відсутні.

ДОДАТОК В
«ВТРАТИ». РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМУ МАКСИМАЛЬНИХ
НАВАНТАЖЕНЬ ВХІДНОЇ ЕМ

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Тривалість звітного періоду: 8760.0 год
 Час втрат: 4318.9 год
 Отримано потужн./ел.енерг.: 98.666 МВт / 864.314 млн.кВт*г
 Відпущено потужн./ел.енерг.: 94.490 МВт / 827.732 млн.кВт*г
 Втрати в ЛЕП 220-35 кВ: 3.037 МВт / 13.116 млн.кВт*г
 Втрати в ЛЕП 750-330 кВ: 0.000 МВт / 0.000 млн.кВт*г
 Сумарні втрати в ЛЕП: 3.037 МВт / 13.116 млн.кВт*г
 Втрати х.х. в трансформаторах: 0.781 МВт / 6.846 млн.кВт*г
 Втрати нав. в трансформаторах: 0.402 МВт / 1.736 млн.кВт*г
 Сумарні втрати в трансформаторах: 1.183 МВт / 8.582 млн.кВт*г
 СУМАРНІ ВТРАТИ У МЕРЕЖАХ 750-35 кВ: 5.024 МВт / 21.698 млн.кВт*г (2.5%)
 ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВУЗЛИ

 --
N вузла	Назва	Рнав,МВт	Qнав,МВАр	U, кВ	Фаза, град
 ---|
 100 Ладизинська ТЕЦ -54.328 -29.884 115.500 0.00
 101 101 0.000 0.000 115.288 -0.07
 102 102 0.000 0.000 115.256 -0.07
 1 Ферментний завод 0.000 0.000 115.253 -0.08
 2 Тульчин 0.000 0.000 113.804 -0.57
 3 Рахни тяга 0.000 0.000 111.627 -1.14
 4 Суворівська 0.000 0.000 111.314 -1.27
 5 Вапнярка тяга 0.000 0.000 109.789 -1.73
 103 103 0.000 0.000 109.552 -1.80
 6 Томашпіль 0.000 0.000 108.837 -1.95
 104 104 0.000 0.000 107.910 -2.18
 7 Антонівка 0.000 0.000 107.907 -2.18
 8 Борівка 0.000 0.000 107.421 -2.29
 9 Моївка 0.000 0.000 107.252 -2.32
 10 Гнатків 0.000 0.000 108.644 -1.94
 11 Дзигівка 0.000 0.000 108.600 -1.88
 105 105 0.000 0.000 108.616 -1.86
 12 Радянське 0.000 0.000 108.524 -1.88
 13 Ямпіль 0.000 0.000 108.771 -1.76
 106 106 0.000 0.000 108.764 -1.76
 14 Пороги 0.000 0.000 108.687 -1.78
 15 Михайлівка 0.000 0.000 109.400 -1.52
 16 Івонівка 0.000 0.000 109.965 -1.34
 17 Коси 0.000 0.000 109.886 -1.43
 107 107 0.000 0.000 110.359 -1.34
 18 Могилів Подільський 0.000 0.000 112.290 -0.89
 20 Конева 0.000 0.000 112.101 -0.97
 21 Шаргород 0.000 0.000 111.708 -1.14
 108 108 0.000 0.000 111.708 -1.14
 200 Днвстровська ГЕС -44.338 -32.593 115.500 0.00
 109 109 0.000 0.000 114.077 -0.40
 19 Яришів 0.000 0.000 114.064 -0.41
 22 Немія 0.000 0.000 111.890 -0.86
 301 Шуркопівська 0.000 0.000 37.002 -1.83

302 Комаргород 0.000 0.000 36.318 -2.21
303 Джурин 0.000 0.000 36.424 -2.03
304 Вю Русава 0.000 0.000 36.215 -2.22
1002010 0.000 0.000 10.402 -1.22
1001010 9.630 4.940 10.401 -1.21
2001 0.000 0.000 112.724 -1.46
2001035 0.000 0.000 37.705 -1.44
2001010 0.000 0.000 10.804 -1.21
2002 0.000 0.000 112.976 -1.22
2002035 0.000 0.000 37.705 -1.44
2002010 0.000 0.000 10.804 -1.21
3001 0.000 0.000 110.295 -2.23
3001027 0.000 0.000 26.374 -2.23
3001010 6.860 3.890 10.471 -2.92
3002 0.000 0.000 110.295 -2.23
3002010 6.860 3.890 10.471 -2.92
3002027 0.000 0.000 26.374 -2.23
4001010 2.550 1.370 10.336 -3.85
5001 0.000 0.000 108.650 -2.78
5001027 0.000 0.000 25.980 -2.78
5001010 6.365 3.260 10.325 -3.43
5002 0.000 0.000 108.650 -2.78
5002027 0.000 0.000 25.980 -2.78
5002010 6.365 3.260 10.325 -3.43
6001 0.000 0.000 108.550 -2.20
6001035 0.000 0.000 36.335 -2.19
6001010 0.000 0.000 10.383 -2.20
6002 0.000 0.000 108.549 -2.20
6002035 0.000 0.000 36.335 -2.19
6002010 0.000 0.000 10.383 -2.20
7001010 2.430 1.320 10.012 -4.80
8001010 2.770 1.640 9.888 -5.31
9001 0.000 0.000 103.418 -5.18
9001035 0.000 0.000 34.623 -5.18
9001010 3.980 2.370 9.682 -6.92
10001010 2.320 1.320 10.087 -4.40
11001010 1.990 1.070 9.434 -3.98
12001010 2.320 1.200 9.396 -4.35
13001010 3.650 1.770 9.852 -4.21
14001 0.000 0.000 105.602 -4.41
14001035 0.000 0.000 35.354 -4.41
14001010 3.760 1.930 9.932 -5.98
15001010 1.990 0.960 9.662 -3.59
16001010 1.330 1.220 9.476 -2.67
16002010 1.330 1.220 9.476 -2.67
17001010 2.550 1.580 9.443 -4.07
18001 0.000 0.000 110.140 -2.49
18001035 0.000 0.000 36.873 -2.49
18001010 2.490 1.480 10.414 -3.44
18002 0.000 0.000 110.140 -2.49
18002035 0.000 0.000 36.873 -2.49
18002010 2.490 1.480 10.414 -3.44
19001 0.000 0.000 112.892 -1.40
19001035 0.000 0.000 37.779 -1.39
19001010 2.325 1.250 10.763 -1.60
19002 0.000 0.000 112.631 -1.63
19002035 0.000 0.000 37.779 -1.39
19002010 2.325 1.250 10.764 -1.60
20001010 1.550 0.870 10.714 -4.56
21001 0.000 0.000 111.342 -1.48
21001035 0.000 0.000 37.269 -1.48

21001010 0.000 0.000 10.650 -1.48
 21002 0.000 0.000 111.342 -1.48
 21002035 0.000 0.000 37.269 -1.48
 21002010 0.000 0.000 10.650 -1.48
 22001 0.000 0.000 110.852 -1.71
 22001035 0.000 0.000 37.098 -1.70
 22001010 1.935 1.095 10.572 -1.89
 22002 0.000 0.000 110.620 -1.91
 22002035 0.000 0.000 37.098 -1.70
 22002010 1.935 1.095 10.573 -1.89
 301001010 1.330 0.750 11.363 -3.50
 302001010 0.940 0.480 11.238 -3.44
 302002010 0.940 0.480 11.238 -3.44
 303001010 0.995 0.535 11.316 -2.97
 303002010 0.995 0.535 11.316 -2.97
 304001010 1.000 0.590 10.665 -3.51
 4021 0.000 0.000 109.204 -1.60
 4041 0.000 0.000 108.816 -1.72
 4031 0.000 0.000 111.604 -0.80
 4011 0.000 0.000 110.818 -1.05
 401101 2.590 1.300 10.240 -4.10
 401102 0.000 0.000 10.240 -4.10
 402101 8.800 5.000 10.239 -4.55
 402102 0.000 0.000 10.240 -4.55
 403101 -17.000 1.000 10.494 2.62
 403102 0.000 0.000 10.494 2.62
 404101 9.800 5.800 10.458 -5.04
 404102 0.000 0.000 10.459 -5.04

 ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВІТКИ

 |N початку| N кінця | Pп,МВт|Qп,МВАр| Pк,МВт|Qк,МВАр| dP,МВт|dQ,МВАр| I,кА |
 dU,кВ |

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
 -----|

100 101 25.764 13.615 25.733 13.559 0.031 0.056 0.145 0.212
 101 1 8.816 5.311 8.814 5.308 0.002 0.003 0.051 0.035
 1 102 -0.885 -0.290 -0.885 -0.290 0.000 0.000 -0.005 -0.003
 102 100 -28.525 -16.198 -28.564 -16.269 0.039 0.071 -0.164 -0.244
 16 16001010 1.349 1.652 1.344 1.569 0.005 0.083 0.011 3.550
 16001010 16002010 0.015 0.349 0.015 0.349 0.000 0.000 -0.021 -0.000
 16 16002010 1.318 0.917 1.314 0.870 0.003 0.047 0.008 2.073
 6 6001 0.234 0.130 0.234 0.128 0.000 0.001 0.001 0.304
 6001 6001035 0.234 0.128 0.234 0.128 0.000 0.000 0.001 0.018
 6001035 304 0.339 0.319 0.338 0.318 0.001 0.001 0.007 0.120
 304 303 -0.671 -0.256 -0.674 -0.260 0.003 0.004 -0.011 -0.214
 303 21001035 -2.680 -1.368 -2.728 -1.427 0.048 0.058 -0.048 -0.855
 21001 21001035 1.364 0.693 1.364 0.693 0.000 0.000 0.008 0.018
 21 21001 1.365 0.703 1.364 0.692 0.000 0.010 0.008 0.381
 21 20 -3.106 -0.914 -3.114 -0.926 0.008 0.012 -0.017 -0.399
 20 18 -4.680 -1.146 -4.687 -1.155 0.006 0.009 -0.025 -0.191
 18 107 23.083 13.917 22.793 13.498 0.288 0.418 0.138 1.948
 107 17 22.793 13.867 22.716 13.774 0.077 0.092 0.139 0.476
 17 16 -1.926 0.348 -1.927 0.346 0.002 0.003 -0.010 -0.083
 16 15 11.663 5.187 11.619 5.124 0.044 0.063 0.067 0.573
 15 13 9.614 4.503 9.578 4.436 0.036 0.066 0.056 0.642
 13 105 5.321 0.477 5.315 0.467 0.007 0.010 0.028 0.161
 105 11 2.976 -0.439 2.975 -0.440 0.001 0.001 0.016 0.017
 11 10 0.970 -1.336 0.969 -1.338 0.001 0.002 0.009 -0.040
 10 6 -1.369 -2.307 -1.371 -2.311 0.003 0.004 -0.014 -0.192

13 4041 -3.212 0.222 -3.213 0.219 0.001 0.002 -0.017 -0.048
4041 4021 -13.080 -6.367 -13.114 -6.416 0.034 0.049 -0.077 -0.394
4021 17 -21.972 -12.005 -22.071 -12.149 0.099 0.143 -0.132 -0.691
4021 402101 4.414 2.820 4.396 2.500 0.018 0.318 0.028 4.048
402101 402102 -4.398 -2.497 -4.398 -2.497 0.000 0.000 -0.285 -0.000
4021 402102 4.416 2.816 4.398 2.497 0.018 0.318 0.028 4.044
4041 404101 4.919 3.313 4.896 2.900 0.023 0.411 0.031 4.756
404101 404102 -4.898 -2.896 -4.898 -2.896 0.000 0.000 -0.314 -0.000
4041 404102 4.921 3.309 4.898 2.896 0.023 0.411 0.031 4.752
16 4011 -16.277 -6.761 -16.369 -6.894 0.092 0.133 -0.092 -0.864
4011 4031 -18.985 -8.063 -19.083 -8.205 0.098 0.142 -0.107 -0.794
4031 22 -2.182 -10.156 -2.199 -10.180 0.016 0.024 -0.054 -0.285
22 18 -6.120 -12.520 -6.149 -12.562 0.029 0.041 -0.072 -0.399
22 22001 1.328 0.776 1.327 0.749 0.001 0.027 0.008 1.075
22001 22001035 0.847 0.355 0.846 0.355 0.000 0.000 0.005 0.040
22001035 22002035 0.846 0.355 0.846 0.355 0.000 0.000 0.014 0.000
22002 22002035 -0.846 -0.351 -0.846 -0.355 0.000 0.004 -0.005 -0.205
22 22002 2.546 1.509 2.544 1.445 0.002 0.063 0.015 1.319
22002 22002010 3.390 1.796 3.387 1.796 0.003 0.000 0.020 0.082
22002010 22001010 1.453 0.702 1.453 0.702 0.000 0.000 0.088 0.000
22001 22001010 0.481 0.395 0.481 0.392 0.000 0.003 0.003 0.328
4031 403101 -8.470 1.001 -8.495 0.494 0.026 0.505 -0.044 0.354
403101 403102 8.494 -0.505 8.493 -0.505 0.000 0.000 0.467 0.001
4031 403102 -8.468 1.012 -8.493 0.505 0.026 0.505 -0.044 0.362
4011 401101 1.302 0.743 1.294 0.650 0.008 0.093 0.008 4.013
401101 401102 -1.294 -0.649 -1.294 -0.649 0.000 0.000 -0.082 -0.000
4011 401102 1.302 0.742 1.294 0.649 0.008 0.093 0.008 4.012
102 4 27.640 16.645 27.023 15.517 0.614 1.123 0.161 3.969
4 5 24.454 14.827 24.236 14.429 0.217 0.397 0.148 1.548
5 103 11.422 7.284 11.406 7.255 0.016 0.029 0.071 0.241
103 6 11.406 7.546 11.351 7.467 0.055 0.079 0.072 0.725
18 109 -38.949 -29.701 -39.312 -30.507 0.362 0.803 -0.251 -1.798
109 200 -44.018 -31.883 -44.338 -32.593 0.319 0.708 -0.275 -1.426
19 19001 1.596 0.893 1.595 0.857 0.001 0.036 0.009 1.202
19001 19001035 1.014 0.400 1.014 0.400 0.000 0.000 0.006 0.047
19001035 19002035 1.014 0.400 1.014 0.400 0.000 0.000 0.017 0.000
19002 19002035 -1.013 -0.395 -1.014 -0.400 0.000 0.005 -0.006 -0.226
19 19002 3.060 1.737 3.058 1.650 0.003 0.086 0.018 1.475
19002 19002010 4.071 2.045 4.066 2.045 0.004 0.000 0.023 0.097
19002010 19001010 1.743 0.796 1.743 0.796 0.000 0.000 0.103 0.000
19001 19001010 0.581 0.457 0.581 0.453 0.000 0.004 0.004 0.372
18 18001 2.496 1.638 2.492 1.538 0.004 0.100 0.015 2.240
18001 18001035 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
18001035 18002035 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
18002 18002035 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
18 18002 2.496 1.638 2.492 1.538 0.004 0.100 0.015 2.240
18002 18002010 2.492 1.538 2.488 1.479 0.004 0.058 0.015 1.351
18002010 18001010 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
18001 18001010 2.492 1.538 2.488 1.479 0.004 0.058 0.015 1.351
21 108 0.317 -0.232 0.317 -0.232 0.000 0.000 0.002 -0.000
108 3 0.317 0.400 0.317 0.400 0.000 0.000 0.003 0.081
3 2 -13.492 -7.196 -13.682 -7.472 0.189 0.274 -0.079 -2.194
2 101 -16.774 -8.495 -16.917 -8.755 0.142 0.259 -0.095 -1.490
2002 2002010 0.682 0.279 0.682 0.279 0.000 0.000 0.004 0.016
2002010 2001010 0.682 0.279 0.682 0.279 0.000 0.000 0.039 0.000
2001 2001010 -0.681 -0.275 -0.682 -0.279 0.000 0.004 -0.004 -0.246
2001 2001035 2.107 1.068 2.105 1.068 0.002 0.000 0.012 0.098
2001035 2002035 2.105 1.068 2.105 1.068 0.000 0.000 0.036 0.000
2002 2002035 0.935 0.693 0.935 0.687 0.000 0.006 0.006 0.361
302 302001010 0.943 0.507 0.939 0.480 0.004 0.028 0.017 0.594
302001010 302002010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

302 302002010 0.943 0.507 0.939 0.480 0.004 0.028 0.017 0.594
2 2002 1.618 0.997 1.617 0.971 0.001 0.025 0.010 0.848
2002035 301 3.040 1.785 2.995 1.731 0.045 0.054 0.054 0.710
301 302 1.653 0.979 1.629 0.950 0.024 0.029 0.030 0.692
302 6002035 -0.267 -0.058 -0.267 -0.058 0.000 0.000 -0.004 -0.017
6002035 6001035 0.104 0.157 0.104 0.157 0.000 0.000 0.003 0.000
6002 6002035 0.371 0.205 0.371 0.205 0.000 0.000 0.002 0.018
6 6002 0.371 0.207 0.371 0.205 0.000 0.002 0.002 0.304
6002 6002010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000
6002010 6001010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
6001 6001010 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000
2 2001 1.427 0.822 1.426 0.792 0.001 0.030 0.008 1.111
3 3001 6.864 4.179 6.860 3.999 0.004 0.179 0.041 1.393
3001 3001027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
3001027 3002027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
3002 3002027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
3 3002 6.864 4.179 6.860 3.999 0.004 0.179 0.041 1.393
3002 3002010 6.860 3.999 6.856 3.888 0.004 0.111 0.041 0.881
3002010 3001010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
3001 3001010 6.860 3.999 6.856 3.888 0.004 0.111 0.041 0.881
21 21002 1.365 0.703 1.364 0.692 0.000 0.010 0.008 0.381
21002 21002035 1.365 0.692 1.364 0.692 0.000 0.000 0.008 0.018
21002035 21001035 1.364 0.692 1.364 0.692 0.000 0.000 0.024 0.000
21002 21002010 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000
21002010 21001010 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
21001 21001010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000
303 303001010 0.997 0.557 0.994 0.535 0.003 0.023 0.018 0.443
303001010 303002010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
303 303002010 0.997 0.557 0.994 0.535 0.003 0.023 0.018 0.443
5 5001 6.368 3.504 6.365 3.352 0.004 0.152 0.038 1.216
5001 5001027 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
5001027 5002027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
5002 5002027 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
5 5002 6.368 3.504 6.365 3.352 0.004 0.152 0.038 1.216
5002 5002010 6.365 3.352 6.361 3.258 0.004 0.094 0.038 0.771
5002010 5001010 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
5001 5001010 6.365 3.352 6.361 3.258 0.004 0.094 0.038 0.771
1 1001010 4.815 2.599 4.810 2.474 0.006 0.125 0.027 1.363
1001010 1002010 -4.814 -2.463 -4.815 -2.463 0.000 0.000 -0.300 -0.000
1 1002010 4.820 2.588 4.815 2.463 0.006 0.125 0.027 1.357
104 7 9.285 5.715 9.285 5.714 0.000 0.000 0.058 0.003
109 19 4.705 2.869 4.705 2.868 0.000 0.001 0.028 0.014
15 15001010 1.995 1.053 1.989 0.959 0.006 0.093 0.012 2.493
7 8 6.837 4.412 6.814 4.379 0.022 0.033 0.043 0.494
13 106 3.796 2.247 3.795 2.247 0.000 0.000 0.023 0.008
106 14 3.795 2.332 3.794 2.329 0.002 0.003 0.024 0.078
105 12 2.339 1.256 2.337 1.254 0.001 0.002 0.014 0.094
301 301001010 1.337 0.806 1.329 0.750 0.008 0.057 0.024 0.894
12 12001010 2.328 1.334 2.319 1.199 0.009 0.134 0.014 3.174
14 14001 3.775 2.301 3.766 2.066 0.009 0.234 0.023 3.344
14001 14001035 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
14001 14001010 3.766 2.066 3.758 1.929 0.009 0.136 0.023 2.020
9 9001 4.000 2.839 3.989 2.541 0.011 0.296 0.026 4.169
304 304001010 1.004 0.624 0.999 0.590 0.005 0.034 0.019 0.707
9001 9001035 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
9001 9001010 3.989 2.541 3.977 2.369 0.011 0.172 0.026 2.504
10 10001010 2.328 1.460 2.319 1.319 0.009 0.141 0.015 3.430
11 11001010 1.995 1.169 1.989 1.069 0.007 0.100 0.012 2.770
13 13001010 3.659 1.972 3.648 1.769 0.011 0.202 0.022 2.915
20 20001010 1.561 1.009 1.549 0.869 0.012 0.139 0.010 5.285
8 8001010 2.782 1.853 2.768 1.639 0.014 0.213 0.018 4.398

7 7001010 2.439 1.473 2.428 1.319 0.010 0.153 0.015 3.522
4 4001010 2.559 1.527 2.548 1.369 0.010 0.157 0.015 3.470
6 104 9.343 5.458 9.285 5.374 0.058 0.083 0.057 0.942
17 17001010 2.560 1.755 2.548 1.579 0.012 0.175 0.016 3.985
8 9 4.022 2.823 4.018 2.816 0.005 0.007 0.026 0.171

ДОДАТОК Г

**«ВТРАТИ». РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМУ МАКСИМАЛЬНИХ
НАВАНТАЖЕНЬ ПІСЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ПНЕ
СУМАРНОЮ ЄМНІСТЮ 8 МВТ·ГОД**

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Тривалість звітного періоду: 8760.0 год
 Час втрат: 4318.9 год
 Отримано потужн./ел.енерг.: 98.073 МВт / 859.117 млн.кВт*г
 Відпущено потужн./ел.енерг.: 94.490 МВт / 827.732 млн.кВт*г
 Втрати в ЛЕП 220-35 кВ: 2.443 МВт / 10.552 млн.кВт*г
 Втрати в ЛЕП 750-330 кВ: 0.000 МВт / 0.000 млн.кВт*г
 Сумарні втрати в ЛЕП: 2.443 МВт / 10.552 млн.кВт*г
 Втрати х.х. в трансформаторах: 0.787 МВт / 6.894 млн.кВт*г
 Втрати нав. в трансформаторах: 0.394 МВт / 1.703 млн.кВт*г
 Сумарні втрати в трансформаторах: 1.181 МВт / 8.597 млн.кВт*г
 СУМАРНІ ВТРАТИ У МЕРЕЖАХ 750-35 кВ: 4.434 МВт / 19.149 млн.кВт*г (2.2%)
 ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВУЗЛИ

--

N вузла	Назва	Rнав,МВт	Qнав,МВАр	U, кВ	Фаза, град
100	Ладизинська ТЕЦ	-49.034	-28.308	115.500	0.00
101	101	0.000	0.000	115.301	-0.06
102	102	0.000	0.000	115.277	-0.06
1	Ферментний завод	0.000	0.000	115.270	-0.07
2	Тульчин	0.000	0.000	113.875	-0.54
3	Рахни тяга	0.000	0.000	111.752	-1.09
4	Суворівська	0.000	0.000	111.794	-1.00
5	Вапнярка тяга	0.000	0.000	110.456	-1.35
103	103	0.000	0.000	110.276	-1.39
6	Томашпіль	0.000	0.000	109.741	-1.44
104	104	0.000	0.000	109.345	-1.38
7	Антонівка	0.000	0.000	109.344	-1.38
8	Борівка	0.000	0.000	109.214	-1.28
9	Моївка	0.000	0.000	109.244	-1.20
10	Гнатків	0.000	0.000	109.402	-1.53
11	Дзигівка	0.000	0.000	109.195	-1.57
105	105	0.000	0.000	109.186	-1.57
12	Радянське	0.000	0.000	109.094	-1.59
13	Ямпіль	0.000	0.000	109.246	-1.53
106	106	0.000	0.000	109.239	-1.53
14	Пороги	0.000	0.000	109.163	-1.56
15	Михайлівка	0.000	0.000	109.820	-1.33
16	Івонівка	0.000	0.000	110.338	-1.18
17	Коси	0.000	0.000	110.245	-1.27
107	107	0.000	0.000	110.685	-1.20
18	Могилів Подільський	0.000	0.000	112.491	-0.80
20	Конева	0.000	0.000	112.296	-0.89
21	Шаргород	0.000	0.000	111.884	-1.06
108	108	0.000	0.000	111.884	-1.06
200	Днвстровська ГЕС	-41.039	-30.893	115.500	0.00

109 109 0.000 0.000 114.163 -0.37
19 Яришів 0.000 0.000 114.150 -0.37
22 Немія 0.000 0.000 112.138 -0.77
301 Шуркопівська 0.000 0.000 37.119 -1.65
302 Комаргород 0.000 0.000 36.543 -1.94
303 Джурин 0.000 0.000 36.555 -1.86
304 Вю Русава 0.000 0.000 36.412 -1.98
1002010 0.000 0.000 10.403 -1.21
1001010 9.630 4.940 10.403 -1.21
2001 0.000 0.000 112.875 -1.34
2001035 0.000 0.000 37.759 -1.31
2001010 0.000 0.000 10.817 -1.12
2002 0.000 0.000 113.110 -1.12
2002035 0.000 0.000 37.759 -1.31
2002010 0.000 0.000 10.817 -1.12
3001 0.000 0.000 110.422 -2.18
3001027 0.000 0.000 26.404 -2.18
3001010 6.860 3.890 10.483 -2.86
3002 0.000 0.000 110.422 -2.18
3002010 6.860 3.890 10.483 -2.86
3002027 0.000 0.000 26.404 -2.18
4001010 2.550 1.370 10.383 -3.56
5001 0.000 0.000 109.325 -2.39
5001027 0.000 0.000 26.142 -2.39
5001010 6.365 3.260 10.390 -3.04
5002 0.000 0.000 109.325 -2.39
5002027 0.000 0.000 26.142 -2.39
5002010 6.365 3.260 10.390 -3.04
6001 0.000 0.000 109.302 -1.91
6001035 0.000 0.000 36.581 -1.90
6001010 0.000 0.000 10.454 -1.91
6002 0.000 0.000 109.301 -1.91
6002035 0.000 0.000 36.581 -1.90
6002010 0.000 0.000 10.454 -1.91
7001010 2.430 1.320 10.154 -3.93
8001010 2.770 1.640 10.067 -4.21
9001 -8.000 -1.000 107.281 1.63
9001035 0.000 0.000 35.916 1.63
9001010 3.980 2.370 10.060 0.02
10001010 2.320 1.320 10.162 -3.96
11001010 1.990 1.070 9.488 -3.65
12001010 2.320 1.200 9.448 -4.04
13001010 3.650 1.770 9.898 -3.96
14001 0.000 0.000 106.095 -4.15
14001035 0.000 0.000 35.519 -4.15
14001010 3.760 1.930 9.980 -5.71
15001010 1.990 0.960 9.701 -3.39
16001010 1.330 1.220 9.510 -2.51
16002010 1.330 1.220 9.510 -2.51
17001010 2.550 1.580 9.477 -3.90
18001 0.000 0.000 110.346 -2.40
18001035 0.000 0.000 36.942 -2.40
18001010 2.490 1.480 10.434 -3.35
18002 0.000 0.000 110.346 -2.40
18002035 0.000 0.000 36.942 -2.40
18002010 2.490 1.480 10.434 -3.35
19001 0.000 0.000 112.979 -1.36
19001035 0.000 0.000 37.808 -1.35
19001010 2.325 1.250 10.772 -1.57
19002 0.000 0.000 112.718 -1.59
19002035 0.000 0.000 37.808 -1.35

```

19002010 2.325 1.250 10.772 -1.57
20001010 1.550 0.870 10.734 -4.46
21001 0.000 0.000 111.540 -1.38
21001035 0.000 0.000 37.336 -1.37
21001010 0.000 0.000 10.669 -1.38
21002 0.000 0.000 111.540 -1.38
21002035 0.000 0.000 37.336 -1.37
21002010 0.000 0.000 10.669 -1.38
22001 0.000 0.000 111.102 -1.62
22001035 0.000 0.000 37.182 -1.61
22001010 1.935 1.095 10.596 -1.79
22002 0.000 0.000 110.870 -1.82
22002035 0.000 0.000 37.182 -1.61
22002010 1.935 1.095 10.597 -1.79
301001010 1.330 0.750 11.400 -3.31
302001010 0.940 0.480 11.310 -3.15
302002010 0.940 0.480 11.310 -3.15
303001010 0.995 0.535 11.358 -2.79
303002010 0.995 0.535 11.358 -2.79
304001010 1.000 0.590 10.726 -3.26
4021 0.000 0.000 109.604 -1.42
4041 0.000 0.000 109.257 -1.51
4031 0.000 0.000 111.899 -0.70
4011 0.000 0.000 111.148 -0.93
401101 2.590 1.300 10.273 -3.96
401102 0.000 0.000 10.273 -3.96
402101 8.800 5.000 10.280 -4.35
402102 0.000 0.000 10.280 -4.35
403101 -17.000 0.000 10.559 2.67
403102 0.000 0.000 10.558 2.67
404101 9.800 5.800 10.504 -4.81
404102 0.000 0.000 10.505 -4.81

```

ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВІТКИ

|N початку| N кінця | Pп,МВт|Qп,МВАр| Pк,МВт|Qк,МВАр| dP,МВт|dQ,МВАр| I,кА |
dU,кВ |

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
----|

```

100 101 23.652 13.044 23.626 12.996 0.026 0.048 0.135 0.199
101 1 7.437 5.044 7.435 5.042 0.002 0.002 0.045 0.031
1 102 -2.264 -0.556 -2.264 -0.556 0.000 0.000 -0.012 -0.007
102 100 -25.350 -15.206 -25.382 -15.264 0.032 0.058 -0.148 -0.223
16 16001010 1.350 1.654 1.344 1.571 0.005 0.082 0.011 3.535
16001010 16002010 0.015 0.352 0.015 0.352 0.000 0.000 -0.021 -0.000
16 16002010 1.317 0.914 1.314 0.867 0.003 0.046 0.008 2.053
6 6001 0.438 0.198 0.437 0.194 0.000 0.004 0.003 0.464
6001 6001035 0.438 0.193 0.437 0.193 0.000 0.000 0.003 0.034
6001035 304 0.567 0.384 0.565 0.382 0.002 0.003 0.011 0.171
304 303 -0.443 -0.191 -0.445 -0.193 0.001 0.002 -0.008 -0.145
303 21001035 -2.451 -1.301 -2.491 -1.350 0.041 0.049 -0.044 -0.790
21001 21001035 1.246 0.654 1.246 0.654 0.000 0.000 0.007 0.016
21 21001 1.246 0.663 1.246 0.654 0.000 0.009 0.007 0.357
21 20 -3.263 -0.952 -3.272 -0.965 0.009 0.013 -0.018 -0.417
20 18 -4.839 -1.182 -4.845 -1.191 0.007 0.009 -0.026 -0.197
18 107 21.006 13.441 20.759 13.083 0.246 0.356 0.128 1.818
107 17 20.759 13.454 20.693 13.375 0.066 0.079 0.129 0.444
17 16 -1.989 0.197 -1.991 0.194 0.002 0.003 -0.010 -0.097
16 15 10.342 5.058 10.307 5.007 0.035 0.051 0.060 0.525
15 13 8.302 4.390 8.274 4.338 0.028 0.051 0.049 0.583

```

13 105 2.083 0.193 2.082 0.192 0.001 0.001 0.011 0.063
105 11 -0.257 -0.708 -0.257 -0.708 0.000 0.000 -0.004 -0.009
11 10 -2.262 -1.601 -2.265 -1.605 0.003 0.005 -0.015 -0.209
10 6 -4.603 -2.566 -4.613 -2.581 0.010 0.015 -0.028 -0.343
13 4041 -1.277 0.417 -1.278 0.417 0.000 0.000 -0.007 -0.011
4041 4021 -11.144 -6.161 -11.170 -6.199 0.026 0.037 -0.067 -0.352
4021 17 -20.028 -11.782 -20.113 -11.905 0.085 0.123 -0.122 -0.647
4021 402101 4.414 2.817 4.396 2.500 0.017 0.316 0.028 4.014
402101 402102 -4.398 -2.497 -4.398 -2.497 0.000 0.000 -0.284 -0.000
4021 402102 4.416 2.814 4.398 2.497 0.017 0.316 0.028 4.009
4041 404101 4.919 3.309 4.896 2.900 0.023 0.407 0.031 4.711
404101 404102 -4.898 -2.896 -4.898 -2.896 0.000 0.000 -0.312 -0.000
4041 404102 4.921 3.305 4.898 2.896 0.023 0.407 0.031 4.707
16 4011 -15.020 -6.778 -15.101 -6.894 0.080 0.116 -0.086 -0.819
4011 4031 -17.716 -8.059 -17.803 -8.185 0.087 0.125 -0.101 -0.757
4031 22 -0.902 -9.120 -0.914 -9.139 0.013 0.018 -0.047 -0.237
22 18 -4.836 -11.479 -4.858 -11.512 0.023 0.033 -0.064 -0.352
22 22001 1.328 0.776 1.327 0.749 0.001 0.027 0.008 1.069
22001 22001035 0.847 0.355 0.846 0.355 0.000 0.000 0.005 0.040
22001035 22002035 0.846 0.355 0.846 0.355 0.000 0.000 0.014 0.000
22002 22002035 -0.846 -0.351 -0.846 -0.355 0.000 0.004 -0.005 -0.203
22 22002 2.546 1.509 2.544 1.445 0.002 0.063 0.015 1.313
22002 22002010 3.390 1.796 3.387 1.796 0.003 0.000 0.020 0.082
22002010 22001010 1.453 0.702 1.453 0.702 0.000 0.000 0.088 0.000
22001 22001010 0.481 0.395 0.481 0.392 0.000 0.003 0.003 0.326
4031 403101 -8.470 0.494 -8.495 -0.005 0.025 0.497 -0.044 -0.030
403101 403102 8.494 -0.005 8.494 -0.005 0.000 0.000 0.464 0.001
4031 403102 -8.468 0.505 -8.494 0.005 0.025 0.497 -0.044 -0.021
4011 401101 1.302 0.742 1.294 0.650 0.008 0.092 0.008 3.986
401101 401102 -1.294 -0.649 -1.294 -0.649 0.000 0.000 -0.081 -0.000
4011 401102 1.302 0.742 1.294 0.649 0.008 0.092 0.008 3.985
102 4 23.086 15.388 22.630 14.554 0.454 0.830 0.139 3.500
4 5 20.061 13.873 19.904 13.585 0.156 0.286 0.126 1.352
5 103 7.089 6.445 7.081 6.430 0.008 0.014 0.050 0.181
103 6 7.081 6.726 7.054 6.686 0.027 0.040 0.051 0.538
18 109 -35.741 -28.205 -36.054 -28.899 0.312 0.691 -0.233 -1.681
109 200 -40.759 -30.273 -41.039 -30.893 0.278 0.617 -0.256 -1.339
19 19001 1.596 0.893 1.595 0.857 0.001 0.036 0.009 1.200
19001 19001035 1.014 0.400 1.014 0.400 0.000 0.000 0.006 0.047
19001035 19002035 1.014 0.400 1.014 0.400 0.000 0.000 0.017 0.000
19002 19002035 -1.013 -0.395 -1.014 -0.400 0.000 0.005 -0.006 -0.226
19 19002 3.060 1.737 3.058 1.650 0.003 0.086 0.018 1.473
19002 19002010 4.071 2.045 4.066 2.045 0.004 0.000 0.023 0.097
19002010 19001010 1.743 0.796 1.743 0.796 0.000 0.000 0.103 0.000
19001 19001010 0.581 0.457 0.581 0.453 0.000 0.004 0.004 0.371
18 18001 2.496 1.637 2.492 1.537 0.004 0.100 0.015 2.231
18001 18001035 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
18001035 18002035 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
18002 18002035 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
18 18002 2.496 1.637 2.492 1.537 0.004 0.100 0.015 2.231
18002 18002010 2.492 1.537 2.488 1.479 0.004 0.058 0.015 1.346
18002010 18001010 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
18001 18001010 2.492 1.537 2.488 1.479 0.004 0.058 0.015 1.346
21 108 0.712 -0.114 0.712 -0.114 0.000 0.000 0.004 0.000
108 3 0.712 0.521 0.711 0.520 0.001 0.001 0.005 0.133
3 2 -13.098 -7.073 -13.278 -7.334 0.179 0.259 -0.077 -2.138
2 101 -16.058 -8.220 -16.188 -8.459 0.130 0.238 -0.091 -1.432
2002 2002010 0.613 0.261 0.613 0.261 0.000 0.000 0.003 0.015
2002010 2001010 0.613 0.261 0.613 0.261 0.000 0.000 0.036 0.000
2001 2001010 -0.613 -0.259 -0.613 -0.261 0.000 0.003 -0.003 -0.228
2001 2001035 1.893 0.995 1.891 0.995 0.002 0.000 0.011 0.088

2001035 2002035 1.891 0.995 1.891 0.995 0.000 0.000 0.033 0.000
 2002 2002035 0.837 0.639 0.837 0.635 0.000 0.005 0.005 0.331
 302 302001010 0.943 0.507 0.939 0.480 0.004 0.027 0.017 0.587
 302001010 302002010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 302 302002010 0.943 0.507 0.939 0.480 0.004 0.027 0.017 0.587
 2 2002 1.451 0.921 1.450 0.901 0.001 0.021 0.009 0.781
 2002035 301 2.728 1.661 2.691 1.617 0.036 0.044 0.049 0.645
 301 302 1.349 0.865 1.333 0.845 0.017 0.020 0.025 0.581
 302 6002035 -0.563 -0.162 -0.564 -0.163 0.000 0.001 -0.009 -0.039
 6002035 6001035 0.130 0.157 0.130 0.157 0.000 0.000 0.003 0.000
 6002 6002035 0.694 0.310 0.693 0.310 0.000 0.000 0.004 0.033
 6 6002 0.694 0.316 0.694 0.309 0.000 0.007 0.004 0.465
 6002 6002010 0.000 -0.001 0.000 -0.001 0.000 0.000 0.000 -0.000
 6002010 6001010 0.000 -0.001 0.000 -0.001 0.000 0.000 0.000 0.000
 6001 6001010 -0.000 0.001 -0.000 0.001 0.000 0.000 -0.000 0.001
 2 2001 1.281 0.761 1.280 0.737 0.001 0.024 0.008 1.025
 3 3001 6.864 4.178 6.860 3.999 0.004 0.179 0.041 1.389
 3001 3001027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 3001027 3002027 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 3002 3002027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 3 3002 6.864 4.178 6.860 3.999 0.004 0.179 0.041 1.389
 3002 3002010 6.860 3.999 6.856 3.888 0.004 0.111 0.041 0.879
 3002010 3001010 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 3001 3001010 6.860 3.999 6.856 3.888 0.004 0.111 0.041 0.879
 21 21002 1.246 0.663 1.246 0.654 0.000 0.009 0.007 0.357
 21002 21002035 1.246 0.654 1.246 0.654 0.000 0.000 0.007 0.016
 21002035 21001035 1.246 0.654 1.246 0.654 0.000 0.000 0.022 0.000
 21002 21002010 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 0.000
 21002010 21001010 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
 21001 21001010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000
 303 303001010 0.997 0.557 0.994 0.535 0.002 0.022 0.018 0.439
 303001010 303002010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 303 303002010 0.997 0.557 0.994 0.535 0.002 0.022 0.018 0.439
 5 5001 6.368 3.501 6.365 3.351 0.004 0.150 0.038 1.195
 5001 5001027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 5001027 5002027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 5002 5002027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 5 5002 6.368 3.501 6.365 3.351 0.004 0.150 0.038 1.195
 5002 5002010 6.365 3.351 6.361 3.258 0.004 0.093 0.038 0.758
 5002010 5001010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 5001 5001010 6.365 3.351 6.361 3.258 0.004 0.093 0.038 0.758
 1 1001010 4.815 2.599 4.810 2.474 0.006 0.125 0.027 1.362
 1001010 1002010 -4.814 -2.463 -4.815 -2.463 0.000 0.000 -0.300 -0.000
 1 1002010 4.820 2.588 4.815 2.463 0.006 0.125 0.027 1.357
 104 7 1.268 4.576 1.268 4.576 0.000 0.000 0.025 0.001
 109 19 4.705 2.869 4.705 2.869 0.000 0.001 0.028 0.014
 15 15001010 1.995 1.052 1.989 0.959 0.006 0.093 0.012 2.469
 7 8 -1.181 3.283 -1.185 3.277 0.004 0.006 -0.018 0.125
 13 106 3.796 2.243 3.795 2.243 0.000 0.000 0.023 0.008
 106 14 3.795 2.329 3.794 2.326 0.002 0.003 0.023 0.077
 105 12 2.339 1.254 2.337 1.252 0.001 0.002 0.014 0.093
 301 301001010 1.337 0.806 1.329 0.750 0.008 0.056 0.024 0.888
 12 12001010 2.327 1.333 2.319 1.199 0.009 0.133 0.014 3.132
 14 14001 3.775 2.297 3.766 2.064 0.009 0.232 0.023 3.306
 14001 14001035 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 14001 14001010 3.766 2.064 3.758 1.929 0.009 0.135 0.023 1.998
 9 9001 -3.999 1.757 -4.007 1.529 0.008 0.226 -0.023 1.982
 304 304001010 1.004 0.623 0.999 0.590 0.005 0.033 0.019 0.700
 9001 9001035 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
 9001 9001010 3.988 2.529 3.977 2.369 0.010 0.160 0.025 2.062
 10 10001010 2.328 1.458 2.319 1.319 0.009 0.138 0.014 3.371

11	11001010	1.995	1.168	1.989	1.069	0.007	0.098	0.012	2.733
13	13001010	3.659	1.970	3.648	1.769	0.011	0.200	0.022	2.882
20	20001010	1.561	1.009	1.549	0.869	0.012	0.139	0.010	5.264
8	8001010	2.782	1.845	2.768	1.639	0.014	0.205	0.018	4.219
7	7001010	2.438	1.469	2.428	1.319	0.010	0.149	0.015	3.402
4	4001010	2.559	1.526	2.548	1.369	0.010	0.156	0.015	3.430
6	104	1.277	4.241	1.268	4.227	0.009	0.014	0.023	0.392
17	17001010	2.560	1.754	2.548	1.579	0.012	0.174	0.016	3.956
8	9	-3.977	1.738	-3.980	1.733	0.004	0.005	-0.023	-0.033

ДОДАТОК Д

**«ВТРАТИ». РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМУ МАКСИМАЛЬНИХ
НАВАНТАЖЕНЬ ПІСЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ПНЕ
СУМАРНОЮ ЄМНІСТЮ 80 МВТ·ГОД**

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Тривалість звітного періоду: 8760.0 год
 Час втрат: 4318.9 год
 Отримано потужн./ел.енерг.: 100.508 МВт / 880.453 млн.кВт*г
 Відпущено потужн./ел.енерг.: 97.118 МВт / 850.751 млн.кВт*г
 Втрати в ЛЕП 220-35 кВ: 1.735 МВт / 7.491 млн.кВт*г
 Втрати в ЛЕП 750-330 кВ: 0.000 МВт / 0.000 млн.кВт*г
 Сумарні втрати в ЛЕП: 1.735 МВт / 7.491 млн.кВт*г
 Втрати х.х. в трансформаторах: 0.807 МВт / 7.065 млн.кВт*г
 Втрати нав. в трансформаторах: 0.847 МВт / 3.658 млн.кВт*г
 Сумарні втрати в трансформаторах: 1.653 МВт / 10.723 млн.кВт*г
 СУМАРНІ ВТРАТИ У МЕРЕЖАХ 750-35 кВ: 4.217 МВт / 18.214 млн.кВт*г (2.1%)
 ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВУЗЛИ

 --
N вузла	Назва	Pнав,МВт	Qнав,МВАр	U, кВ	Фаза, град
 ---|
 100 Ладихинська ТЕЦ -20.508 -30.057 115.500 0.00
 101 101 0.000 0.000 115.345 -0.01
 102 102 0.000 0.000 115.340 -0.00
 1 Ферментний завод 0.000 0.000 115.323 -0.01
 2 Тульчин 0.000 0.000 114.181 -0.08
 3 Рахни тяга 0.000 0.000 112.316 -0.32
 4 Суворівська 0.000 0.000 113.161 0.30
 5 Вапнярка тяга 0.000 0.000 112.359 0.49
 103 103 0.000 0.000 112.346 0.63
 6 Томашпіль 0.000 0.000 112.379 1.02
 104 104 0.000 0.000 112.382 1.62
 7 Антонівка 0.000 0.000 112.382 1.62
 8 Борівка 0.000 0.000 112.524 2.07
 9 Моївка 0.000 0.000 112.706 2.35
 10 Гнатків 0.000 0.000 111.909 0.85
 11 Дзигівка 0.000 0.000 111.552 0.71
 105 105 0.000 0.000 111.520 0.69
 12 Радянське 0.000 0.000 111.430 0.67
 13 Ямпіль 0.000 0.000 111.490 0.67
 106 106 0.000 0.000 111.502 0.69
 14 Пороги 0.000 0.000 111.579 0.85
 15 Михайлівка 0.000 0.000 111.756 0.55
 16 Івонівка 0.000 0.000 112.010 0.49
 17 Коси 0.000 0.000 111.885 0.39
 107 107 0.000 0.000 112.166 0.35
 18 Могилів Подільський 0.000 0.000 113.368 0.25
 20 Конева 0.000 0.000 113.156 0.16
 21 Шаргород 0.000 0.000 112.692 0.01
 108 108 0.000 0.000 112.691 0.00
 200 Днвстровська ГЕС 2.628 -31.459 115.500 0.00

109	109	0.000	0.000	114.680	0.23
19	Яришів	0.000	0.000	114.691	0.25
22	Немія	0.000	0.000	113.159	0.39
301	Шуркопівська	0.000	0.000	37.587	1.81
302	Комаргород	0.000	0.000	37.934	4.11
303	Джурин	0.000	0.000	37.203	1.42
304	Вю Русава	0.000	0.000	37.576	3.18
1002010		0.000	0.000	10.408	-1.15
1001010		9.630	4.940	10.408	-1.15
2001		0.000	0.000	112.598	0.62
2001035		0.000	0.000	37.719	0.66
2001010		0.000	0.000	10.812	0.46
2002		0.000	0.000	113.034	0.45
2002035		0.000	0.000	37.719	0.66
2002010		0.000	0.000	10.812	0.45
3001		0.000	0.000	110.994	-1.40
3001027		0.000	0.000	26.541	-1.40
3001010		6.860	3.890	10.538	-2.07
3002		0.000	0.000	110.994	-1.40
3002010		6.860	3.890	10.538	-2.07
3002027		0.000	0.000	26.541	-1.40
4001010		2.550	1.370	10.518	-2.20
5001		0.000	0.000	111.249	-0.51
5001027		0.000	0.000	26.602	-0.51
5001010		6.365	3.260	10.575	-1.14
5002		0.000	0.000	111.249	-0.51
5002027		0.000	0.000	26.602	-0.51
5002010		6.365	3.260	10.575	-1.14
6001		-20.000	-1.000	115.206	4.71
6001035		0.000	0.000	38.162	4.66
6001010		0.000	0.000	10.932	4.68
6002		0.000	0.000	113.726	4.67
6002035		0.000	0.000	38.162	4.66
6002010		0.000	0.000	10.932	4.68
7001010		2.430	1.320	10.454	-0.79
8001010		2.770	1.640	10.397	-0.68
9001		-20.000	-1.000	109.557	13.01
9001035		0.000	0.000	36.678	13.01
9001010		3.980	2.370	10.282	11.47
10001010		2.320	1.320	10.410	-1.47
11001010		1.990	1.070	9.703	-1.28
12001010		2.320	1.200	9.662	-1.67
13001010		3.650	1.770	10.112	-1.66
14001		-20.000	-1.000	108.947	11.82
14001035		0.000	0.000	36.474	11.82
14001010		3.760	1.930	10.257	10.34
15001010		1.990	0.960	9.880	-1.44
16001010		1.330	1.220	9.661	-0.80
16002010		1.330	1.220	9.661	-0.80
17001010		2.550	1.580	9.628	-2.16
18001		0.000	0.000	111.242	-1.33
18001035		0.000	0.000	37.242	-1.33
18001010		2.490	1.480	10.521	-2.26
18002		0.000	0.000	111.242	-1.33
18002035		0.000	0.000	37.242	-1.33
18002010		2.490	1.480	10.521	-2.26
19001		0.000	0.000	113.890	3.53
19001035		0.000	0.000	38.177	3.54
19001010		2.325	1.250	10.882	4.31
19002		-20.000	-1.000	113.941	4.29
19002035		0.000	0.000	38.177	3.54

```

19002010 2.325 1.250 10.883 4.31
20001010 1.550 0.870 10.825 -3.35
21001 0.000 0.000 112.072 0.19
21001035 0.000 0.000 37.523 0.20
21001010 0.000 0.000 10.719 0.19
21002 0.000 0.000 112.072 0.19
21002035 0.000 0.000 37.523 0.20
21002010 0.000 0.000 10.719 0.19
22001 0.000 0.000 112.133 -0.44
22001035 0.000 0.000 37.527 -0.43
22001010 1.935 1.095 10.695 -0.61
22002 0.000 0.000 111.903 -0.64
22002035 0.000 0.000 37.527 -0.43
22002010 1.935 1.095 10.695 -0.61
301001010 1.330 0.750 11.551 0.19
302001010 0.940 0.480 11.754 2.99
302002010 0.940 0.480 11.754 2.99
303001010 0.995 0.535 11.564 0.53
303002010 0.995 0.535 11.564 0.53
304001010 1.000 0.590 11.081 1.97
4021 0.000 0.000 111.459 0.43
4041 0.000 0.000 111.319 0.52
4031 0.000 0.000 113.067 0.57
4011 0.000 0.000 112.541 0.52
401101 2.590 1.300 10.411 -2.43
401102 0.000 0.000 10.411 -2.43
402101 8.800 5.000 10.467 -2.40
402102 0.000 0.000 10.467 -2.40
403101 -17.000 0.000 10.669 3.88
403102 0.000 0.000 10.669 3.88
404101 9.800 5.800 10.720 -2.64
404102 0.000 0.000 10.721 -2.64

```

ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВІТКИ

|N початку| N кінця | Pп,МВт|Qп,МВАр| Pк,МВт|Qк,МВАр| dP,МВт|dQ,МВАр| I,кА |
dU,кВ |

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
----|

```

100 101 10.853 14.368 10.841 14.347 0.012 0.021 0.090 0.155
101 1 3.728 4.658 3.728 4.657 0.001 0.001 0.030 0.021
1 102 -5.972 -0.942 -5.972 -0.942 0.001 0.001 -0.030 -0.016
102 100 -9.643 -15.667 -9.655 -15.689 0.012 0.022 -0.092 -0.160
16 16001010 1.350 1.663 1.345 1.583 0.005 0.080 0.011 3.431
16001010 16002010 0.016 0.364 0.016 0.364 0.000 0.000 0.022 0.000
16 16002010 1.316 0.900 1.313 0.856 0.003 0.045 0.008 1.924
6 6001 -3.726 -1.146 -3.736 -1.417 0.010 0.271 -0.020 -2.457
6001 6001035 16.157 -1.208 15.986 -1.208 0.171 0.000 0.081 1.204
6001035 304 4.587 -0.653 4.498 -0.759 0.088 0.106 0.070 0.518
304 303 3.490 -1.327 3.414 -1.418 0.076 0.092 0.057 0.326
303 21001035 1.407 -2.525 1.364 -2.577 0.043 0.051 0.045 -0.331
21001 21001035 -0.682 1.267 -0.683 1.267 0.000 0.000 -0.007 -0.009
21 21001 -0.682 1.276 -0.682 1.267 0.000 0.009 -0.007 0.620
21 20 -3.345 -1.332 -3.355 -1.346 0.010 0.015 -0.018 -0.464
20 18 -4.922 -1.548 -4.929 -1.558 0.007 0.010 -0.026 -0.211
18 107 6.571 14.189 6.475 14.051 0.095 0.138 0.079 1.203
107 17 6.475 14.432 6.449 14.400 0.026 0.031 0.081 0.281
17 16 -2.443 0.089 -2.446 0.085 0.003 0.004 -0.013 -0.124
16 15 0.948 5.411 0.940 5.400 0.008 0.011 0.028 0.255
15 13 -1.065 4.801 -1.073 4.788 0.007 0.014 -0.025 0.269

```

13 105 -1.151 -0.015 -1.151 -0.015 0.000 0.000 -0.006 -0.029
105 11 -3.490 -0.891 -3.491 -0.892 0.001 0.001 -0.019 -0.032
11 10 -5.496 -1.767 -5.509 -1.787 0.013 0.019 -0.030 -0.354
10 6 -7.847 -2.718 -7.871 -2.753 0.024 0.035 -0.043 -0.464
13 4041 12.464 -0.864 12.443 -0.895 0.021 0.031 0.065 0.168
4041 4021 2.576 -7.439 2.567 -7.453 0.009 0.014 0.041 -0.141
4021 17 -6.290 -13.012 -6.322 -13.058 0.032 0.046 -0.075 -0.427
4021 402101 4.413 2.806 4.396 2.500 0.017 0.305 0.027 3.763
402101 402102 -4.398 -2.497 -4.398 -2.497 0.000 0.000 -0.278 -0.000
4021 402102 4.415 2.803 4.398 2.497 0.017 0.305 0.027 3.758
4041 404101 4.918 3.293 4.896 2.900 0.022 0.391 0.031 4.395
404101 404102 -4.898 -2.896 -4.898 -2.896 0.000 0.000 -0.306 -0.000
4041 404102 4.920 3.289 4.898 2.896 0.022 0.391 0.031 4.390
16 4011 -6.081 -7.216 -6.106 -7.253 0.025 0.037 -0.049 -0.530
4011 4031 -8.721 -8.405 -8.754 -8.453 0.033 0.047 -0.062 -0.526
4031 22 8.147 -9.367 8.124 -9.400 0.023 0.033 0.063 -0.094
22 18 4.202 -11.739 4.180 -11.771 0.022 0.032 0.064 -0.211
22 22001 1.328 0.776 1.327 0.749 0.001 0.026 0.008 1.026
22001 22001035 0.847 0.354 0.846 0.354 0.000 0.000 0.005 0.040
22001035 22002035 0.846 0.354 0.846 0.354 0.000 0.000 0.014 0.000
22002 22002035 -0.846 -0.351 -0.846 -0.354 0.000 0.004 -0.005 -0.193
22 22002 2.546 1.508 2.544 1.445 0.002 0.062 0.015 1.259
22002 22002010 3.390 1.796 3.387 1.796 0.003 0.000 0.020 0.082
22002010 22001010 1.453 0.702 1.453 0.702 0.000 0.000 0.087 0.000
22001 22001010 0.481 0.395 0.481 0.392 0.000 0.003 0.003 0.317
4031 403101 -8.470 0.483 -8.495 -0.005 0.025 0.487 -0.043 0.107
403101 403102 8.494 -0.005 8.494 -0.005 0.000 0.000 0.459 0.001
4031 403102 -8.469 0.494 -8.494 0.005 0.025 0.487 -0.043 0.116
4011 401101 1.302 0.740 1.294 0.650 0.008 0.090 0.008 3.785
401101 401102 -1.294 -0.649 -1.294 -0.649 0.000 0.000 -0.080 -0.000
4011 401102 1.302 0.739 1.294 0.649 0.008 0.090 0.008 3.783
102 4 3.670 15.463 3.521 15.189 0.149 0.272 0.079 2.180
4 5 0.952 14.533 0.897 14.433 0.054 0.100 0.074 0.804
5 103 -11.920 7.304 -11.936 7.275 0.016 0.030 -0.072 0.016
103 6 -11.936 7.582 -11.992 7.501 0.055 0.080 -0.073 -0.021
18 109 -12.352 -29.556 -12.504 -29.894 0.152 0.337 -0.163 -1.313
109 200 2.733 -31.225 2.628 -31.459 0.105 0.233 0.158 -0.821
19 19001 -5.223 0.991 -5.234 0.685 0.011 0.304 -0.027 1.017
19001 19001035 -3.119 0.378 -3.123 0.378 0.004 0.000 -0.016 -0.144
19001035 19002035 -3.123 0.378 -3.123 0.378 0.000 0.000 -0.047 -0.000
19002 19002035 3.125 -0.337 3.123 -0.378 0.002 0.041 0.016 -0.195
19 19002 -10.066 1.602 -10.087 0.884 0.021 0.716 -0.051 1.068
19002 19002010 6.775 2.220 6.764 2.220 0.011 0.000 0.036 0.165
19002010 19001010 4.441 0.971 4.441 0.971 0.000 0.000 0.241 0.000
19001 19001010 -2.115 0.308 -2.117 0.279 0.002 0.029 -0.011 0.220
18 18001 2.496 1.635 2.492 1.536 0.004 0.098 0.015 2.155
18001 18001035 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
18001035 18002035 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
18002 18002035 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
18 18002 2.496 1.635 2.492 1.536 0.004 0.098 0.015 2.155
18002 18002010 2.492 1.536 2.488 1.479 0.004 0.057 0.015 1.302
18002010 18001010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
18001 18001010 2.492 1.536 2.488 1.479 0.004 0.057 0.015 1.302
21 108 4.649 -0.957 4.649 -0.957 0.000 0.000 0.024 0.001
108 3 4.649 -0.313 4.632 -0.339 0.017 0.025 0.024 0.377
3 2 -9.178 -7.918 -9.296 -8.089 0.118 0.170 -0.062 -1.866
2 101 -7.053 -10.086 -7.113 -10.197 0.060 0.110 -0.062 -1.164
2002 2002010 -0.396 0.636 -0.396 0.636 0.000 0.000 -0.004 -0.009
2002010 2001010 -0.396 0.636 -0.396 0.636 0.000 0.000 -0.040 -0.000
2001 2001010 0.396 -0.632 0.396 -0.636 0.000 0.004 0.004 -0.449
2001 2001035 -1.441 1.918 -1.443 1.918 0.002 0.000 -0.012 -0.067

2001035 2002035 -1.443 1.918 -1.443 1.918 0.000 0.000 -0.037 -0.000
 2002 2002035 -0.854 0.820 -0.854 0.814 0.000 0.006 -0.006 0.373
 302 302001010 0.943 0.505 0.939 0.480 0.004 0.025 0.016 0.485
 302001010 302002010 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 302 302002010 0.943 0.505 0.939 0.480 0.004 0.025 0.016 0.485
 2 2002 -1.248 1.482 -1.249 1.456 0.001 0.026 -0.010 1.150
 2002035 301 -2.297 2.763 -2.343 2.707 0.046 0.056 -0.055 0.148
 301 302 -3.685 1.958 -3.796 1.825 0.110 0.132 -0.064 -0.269
 302 6002035 -5.691 0.822 -5.733 0.772 0.042 0.050 -0.087 -0.199
 6002035 6001035 -11.398 0.519 -11.399 0.519 0.000 0.000 -0.172 -0.000
 6002 6002035 -5.652 -0.265 -5.665 -0.265 0.013 0.000 -0.029 -0.263
 6 6002 -5.732 -0.670 -5.746 -1.045 0.014 0.374 -0.030 -0.989
 6002 6002010 -0.094 -0.780 -0.094 -0.784 0.000 0.004 -0.004 -0.567
 6002010 6001010 -0.094 -0.784 -0.094 -0.784 0.000 0.000 -0.042 -0.000
 6001 6001010 0.094 0.790 0.094 0.784 0.000 0.006 0.004 0.901
 2 2001 -1.043 1.316 -1.045 1.285 0.001 0.031 -0.008 1.590
 3 3001 6.864 4.175 6.860 3.998 0.004 0.177 0.041 1.354
 3001 3001027 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 3001027 3002027 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 3002 3002027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 3 3002 6.864 4.175 6.860 3.998 0.004 0.177 0.041 1.354
 3002 3002010 6.860 3.998 6.856 3.888 0.004 0.110 0.041 0.857
 3002010 3001010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 3001 3001010 6.860 3.998 6.856 3.888 0.004 0.110 0.041 0.857
 21 21002 -0.682 1.276 -0.682 1.267 0.000 0.009 -0.007 0.621
 21002 21002035 -0.682 1.267 -0.682 1.267 0.000 0.000 -0.007 -0.009
 21002035 21001035 -0.682 1.267 -0.682 1.267 0.000 0.000 -0.022 -0.000
 21002 21002010 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000
 21002010 21001010 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000
 21001 21001010 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 303 303001010 0.997 0.556 0.994 0.535 0.002 0.022 0.018 0.398
 303001010 303002010 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 303 303002010 0.997 0.556 0.994 0.535 0.002 0.022 0.018 0.398
 5 5001 6.368 3.493 6.364 3.348 0.003 0.145 0.037 1.110
 5001 5001027 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 5001027 5002027 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
 5002 5002027 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 5 5002 6.368 3.493 6.364 3.348 0.003 0.145 0.037 1.110
 5002 5002010 6.364 3.348 6.361 3.258 0.003 0.089 0.037 0.705
 5002010 5001010 0.000 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 5001 5001010 6.364 3.348 6.361 3.258 0.003 0.089 0.037 0.705
 1 1001010 4.815 2.599 4.810 2.474 0.006 0.125 0.027 1.359
 1001010 1002010 -4.814 -2.463 -4.815 -2.463 0.000 0.000 -0.299 -0.000
 1 1002010 4.820 2.588 4.815 2.463 0.006 0.125 0.027 1.354
 104 7 -10.513 7.505 -10.514 7.505 0.000 0.000 -0.066 0.001
 109 19 -15.237 2.840 -15.240 2.834 0.003 0.006 -0.078 -0.011
 15 15001010 1.995 1.049 1.989 0.959 0.006 0.089 0.012 2.296
 7 8 -12.962 6.230 -13.027 6.135 0.065 0.094 -0.074 -0.114
 13 106 -16.059 4.210 -16.061 4.207 0.003 0.003 -0.086 -0.012
 106 14 -16.061 4.296 -16.084 4.255 0.023 0.042 -0.086 -0.072
 105 12 2.339 1.245 2.337 1.243 0.001 0.002 0.014 0.089
 301 301001010 1.337 0.804 1.329 0.750 0.008 0.055 0.024 0.813
 12 12001010 2.327 1.327 2.319 1.199 0.008 0.127 0.014 2.880
 14 14001 -16.104 4.225 -16.222 1.058 0.117 3.154 -0.086 4.928
 14001 14001035 -0.000 0.000 -0.000 0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
 14001 14001010 3.766 2.057 3.758 1.929 0.008 0.128 0.023 1.143
 9 9001 -15.886 4.584 -16.000 1.523 0.113 3.049 -0.085 5.866
 304 304001010 1.004 0.621 0.999 0.590 0.005 0.031 0.018 0.606
 9001 9001035 -0.000 -0.000 -0.000 -0.000 0.000 0.000 -0.000 -0.000
 9001 9001010 3.987 2.522 3.977 2.369 0.010 0.153 0.025 1.393
 10 10001010 2.327 1.452 2.319 1.319 0.009 0.132 0.014 3.101

11	11001010	1.995	1.164	1.989	1.069	0.006	0.094	0.012	2.517
13	13001010	3.658	1.962	3.648	1.769	0.011	0.192	0.021	2.644
20	20001010	1.561	1.006	1.549	0.869	0.011	0.136	0.009	5.092
8	8001010	2.781	1.832	2.768	1.639	0.013	0.192	0.017	3.763
7	7001010	2.438	1.460	2.428	1.319	0.009	0.140	0.015	3.053
4	4001010	2.559	1.522	2.548	1.369	0.010	0.152	0.015	3.273
6	104	-10.439	7.244	-10.513	7.136	0.075	0.108	-0.065	0.024
17	17001010	2.560	1.748	2.548	1.579	0.011	0.169	0.016	3.749
8	9	-15.818	4.628	-15.866	4.559	0.048	0.069	-0.084	-0.161

ДОДАТОК Е

Графічна частина. Презентація

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем

**«ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМИ
РОЗПОДІЛУ»**

Виконав: ст.гр.ЕСМ-21м,

Харченко О.О.

Науковий керівник: д.т.н. доцент,

професор каф.ЕСС Кулик В.В.

Обрана тема наразі є особливо актуальною, так як використання промислових накопичувачів електроенергії (ПНЕ) в розподільних мережах забезпечить технічні, економічні та екологічні переваги, для операторів системи розподілу (ОСР). Ці переваги включають покращення якості електроенергії, згладжування коливань потужності, пом'якшення коливань напруги, регулювання частоти, вирівнювання графіків навантаження мережі та зменшення пікових навантажень, сприяння інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), розширення мережі та загальне зниження витрат, експлуатаційні резерви та зменшення викидів парникових газів.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування операторів системи розподілу (ОСР), завдяки використанню промислових накопичувачів електроенергії (ПНЕ).

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка впливу ПНЕ на розподільні електричні мережі.

Предметом дослідження є методи і засоби інтеграції ПНЕ в розподільні електричні мережі.

Практичне значення отриманих результатів. На основі адаптованого методу оптимізації потужності та точок підключення промислового накопичувача електроенергії в розподільних мережах розроблено алгоритм, який враховує обмеження якості напруги, що дозволяє обґрунтовано розташовувати ПНЕ в розподільних мережах.

Промислові накопичувачі енергії (ПНЕ) можуть використовувати різні технології акумуляторів, такі як літій-іонні, свинцево-кислотні та нікель-кадмієві. Окрім того, кожен тип акумулятора має технічні параметри, які визначають його застосування та впливають на ефективність зберігання енергії. Основними властивостями ПНЕ є його ємність, потужність, ефективність передачі даних, глибина розряду та термін служби.

Компонентами, необхідними для надійної роботи всієї системи, є контроль і моніторинг системи, система управління енергією і система управління температурою. Контроль і моніторинг системи є загальним (ІТ) моніторингом, який частково об'єднаний у загальну систему диспетчерського контролю та збору даних (SCADA), але також може включати блоки протипожежного захисту або сигналізації. Система управління енергією відповідає за контроль, управління та розподіл електроенергії системи. Термічний менеджмент системи контролює всі функції, пов'язані з опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням повітря системи утримання.

Допоміжні послуги в розподільних мережах

Різна термінологія використовується для класифікації типів допоміжних послуг. Допоміжні послуги для розподільних мереж можна розділити на короткострокові та довгострокові застосування.

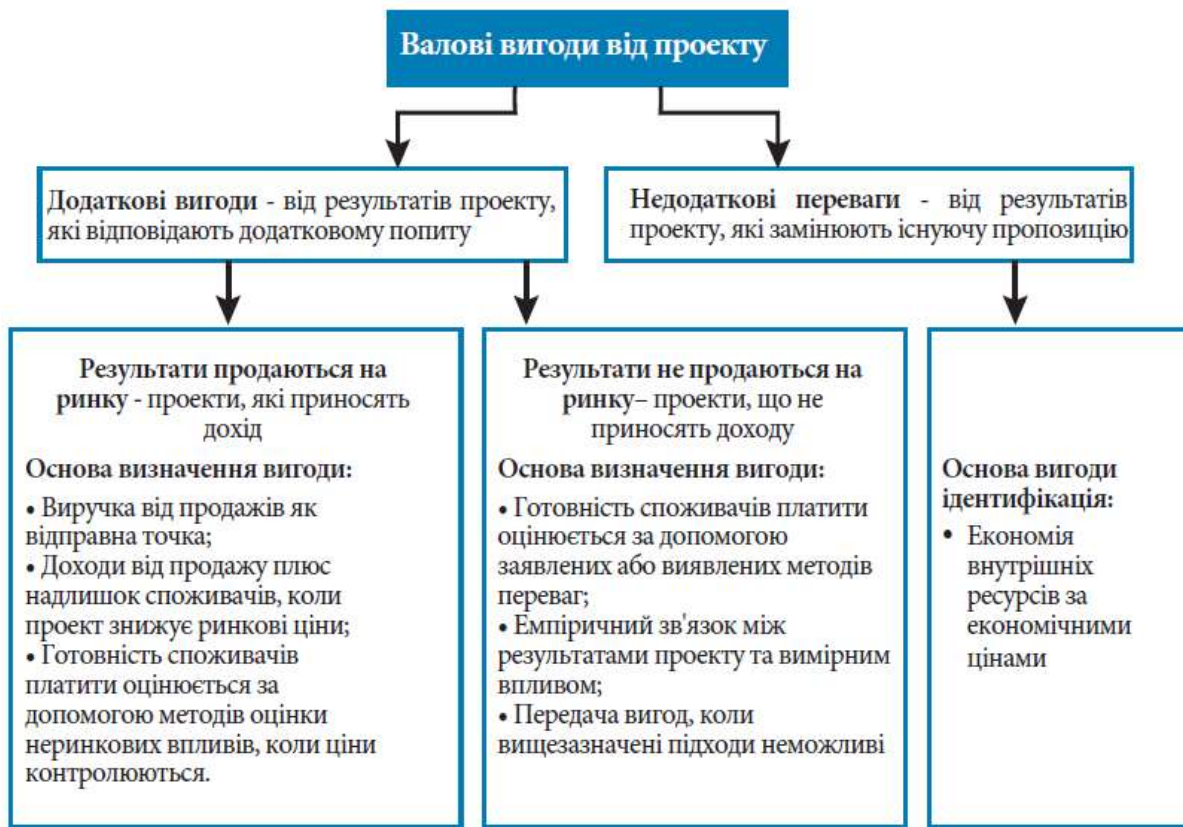
Короткострокові послуги підтримки відомі як послуги швидкого реагування, які в основному зосереджені на компенсації дисбалансу попиту та генерації. ПНЕ можна розгорнути для підвищення продуктивності мережі, забезпечуючи стабільну, надійну та надійну роботу мережі.

Довгострокові допоміжні послуги також відомі як «масова енергія», яка спрямована на зберігання та використання великої кількості енергії для забезпечення ефективної та економічної роботи енергосистеми. ПНЕ у мережах передачі та розподілу експлуатуються протягом тривалого періоду часу для допоміжної підтримки для підвищення ефективності системи та зниження витрат на виробництво та доставку електроенергії.

Економічний та фінансовий аналіз

Таблиця 1. Фактори які впливають на розвиток проектів ПНЕ

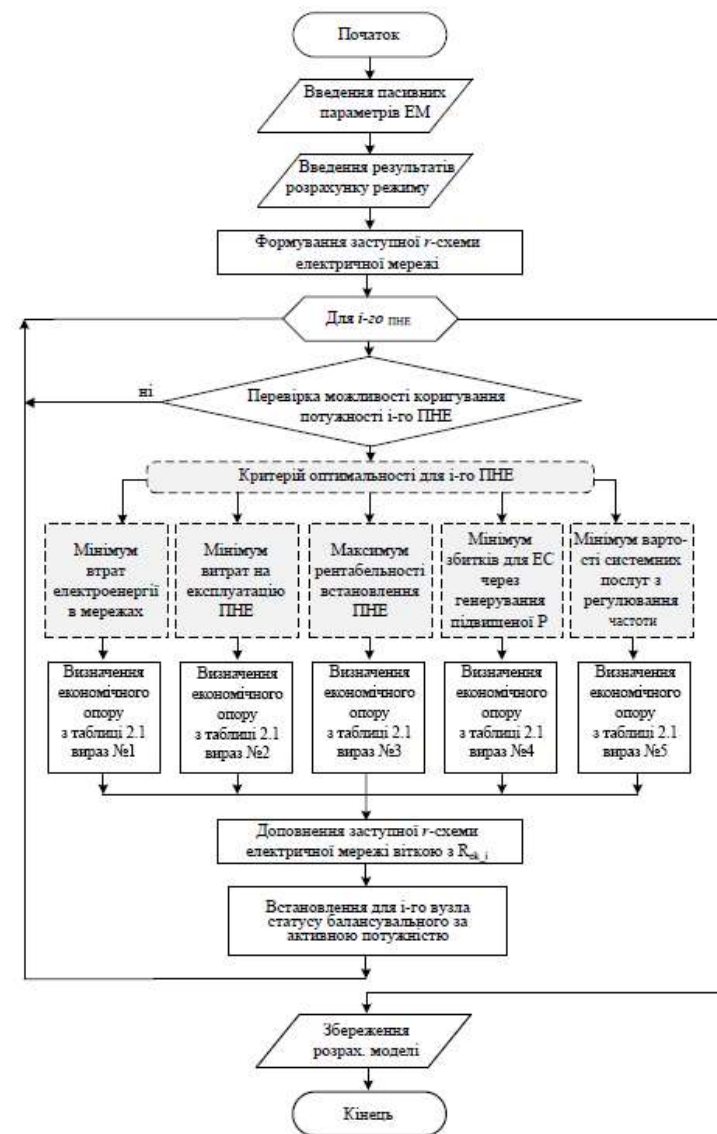
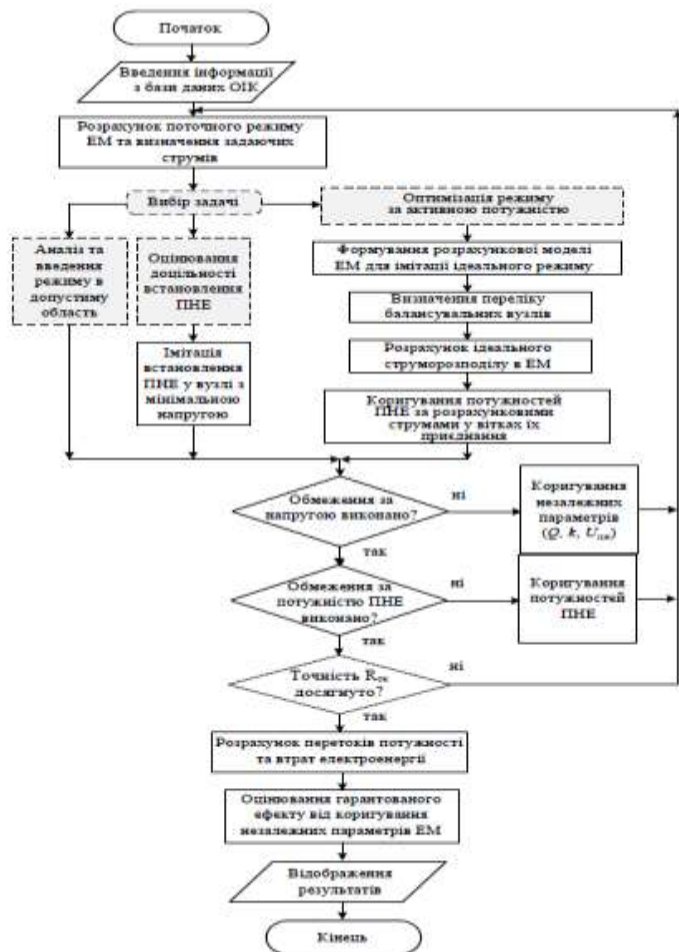
Фактор	Вплив на життєздатність проекту
Вартість зберігання	Вартість ПНЕ, незважаючи на падіння, все ще є найважливішим фактором життєздатності проекту. Витрати залежать від співвідношення МВт/МВт·год накопичувача. Кінцева вартість наприкінці економічного життя проекту також має значення, причому вища кінцева вартість покращує економіку проекту.
Вартість армування мережі	Вищі витрати на зміцнення звичайної мережі підвищують цінність використання ПНЕ, як альтернативи, покращуючи економіку проекту безпосередньо для ОСР та для проектів третіх сторін із контрактом на зменшення пікових навантажень з ОСР.
Комерційні послуги	Розширений доступ до надання комерційних послуг (наприклад, ринки допоміжних послуг, оптовий ринок, ринок потужності) і більша вартість від надання комерційних послуг збільшують потоки доходів проекту, покращуючи економіку проекту. Загальновизнано, що для підвищення економічної життєздатності проектів ПНЕ необхідно об'єднати потоки створення цінностей.
Розвиток політики	Усунення перешкод для зберігання або створення більш сприятливого середовища для інвестування підвищує вартість реалізації проекту, покращуючи економіку проекту (і навпаки).



При визначенні переваг проекту для економічного аналізу особливо важливими є дві відмінності:

- Перший полягає в тому, чи отримані вигоди від додаткового чи недодаткового виробництва.
- Друга відмінність полягає в тому, чи продається продукція проекту на ринках і чи існують ринкові ціни, які можна використовувати як відправну точку для оцінки переваг проекту.

МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ



Критерій максимальної рентабельності

Багатокритеріальна оптимізація розміщення

Оптимізація приєднання.

Вихідними даними для оптимізації розміщення

ПНЕ в розподільних мережах є:

- схема нормального режиму РЕМ;
- типові або вимірювані графіки навантажень окремих підстанцій за розрахунковий період;
- номенклатура допустимих ПНЕ та їх конструктивні параметри;
- оптимізовані заряд-розрядні графіки СНЕ, які отримані розв'язуванням задачі в постановці.

$$\left\{ \begin{array}{l} R(\mathbf{X}) = \frac{\Pi_p(\mathbf{X}) + A_p(\mathbf{X})}{K(\mathbf{X})} \rightarrow \max, \mathbf{X} = \{P_\Sigma, E_\Sigma\}; \\ E_{\Sigma(t)} = E_{\Sigma(0)} - \sum_{j=0}^t \left(\eta P_{H\Sigma(j)|j \in T_D}^+ - P_{H\Sigma(j)|j \in T_C}^- \right); \\ D_t = P_{H\Sigma(t)}^+ - \sum_{i=1}^{n_c} P_{Ci(t)} - \Delta P(\mathbf{X}); \quad D_t \leq D_{\max}, t \in T_D; \\ C_t = P_{H\Sigma(t)}^- + \sum_{i=1}^{n_c} P_{Ci(t)} + \Delta P(\mathbf{X}); \quad C_t \leq C_{\max}, t \in T_C; \\ \mathbf{T} = T_C \cup T_D; \\ E_{\Sigma(t)} \leq E_\Sigma, t \in \mathbf{T}, \\ E_{\Sigma(t+1)} - E_{\Sigma(t)} \leq \Delta E_{\Sigma_{\max}}(E_{\Sigma(t)}), t \in \mathbf{T}, \\ P_{H\Sigma(t)}^+ \leq P_\Sigma, P_{H\Sigma(t)}^- \leq P_\Sigma, t \in \mathbf{T}; \end{array} \right.$$

Практична частина

Оператори систем розподілу (ОСР) можуть підвищити свою операційну та економічну ефективність за рахунок використання промислових накопичувачів електроенергії (ПНЕ). Нижче наведено переваги, які ОСР можуть отримати від використання ПНЕ:

- Зменшення витрат на закупівлю електроенергії на внутрішньому добовому ринку електроенергії, для забезпечення своїх абонентів (завдяки різниці в різний період часу);
- Зменшення втрат електроенергії за рахунок вирівнювання графіків генерації та споживання (наприклад, ПНЕ заряджається від СЕС і живить споживачів у період максимального навантаження);
- У зв'язку з обмеженнями НЕК «Укренерго» та необхідністю введення графіків планових відключень ОСР несе збитки (якщо заряджати ПНЕ в період мінімальних обмежень та розряджати в період максимальних обмежень, тоді збільшиться корисний відпуск і прибуток компанії).

Використання промислового накопичувача електроенергії, для зменшення витрат ОСР на закупівлю електроенергії

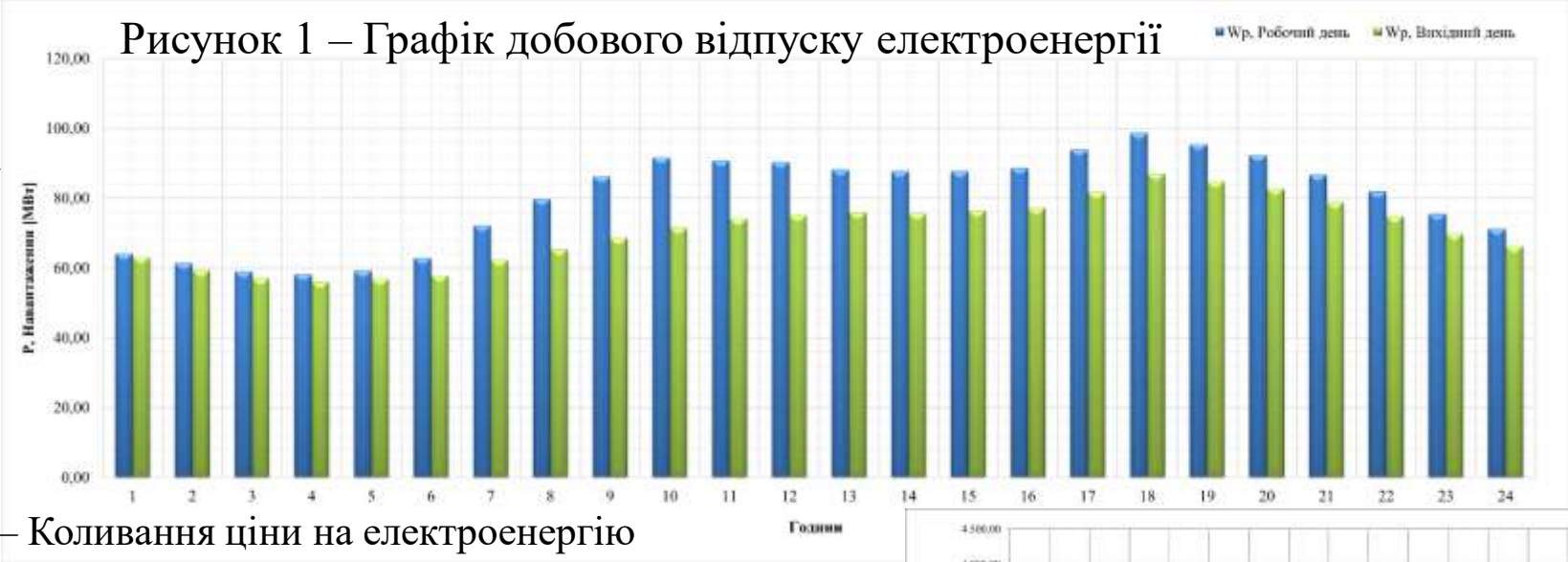


Рисунок 2 – Коливання ціни на електроенергію в робочий день

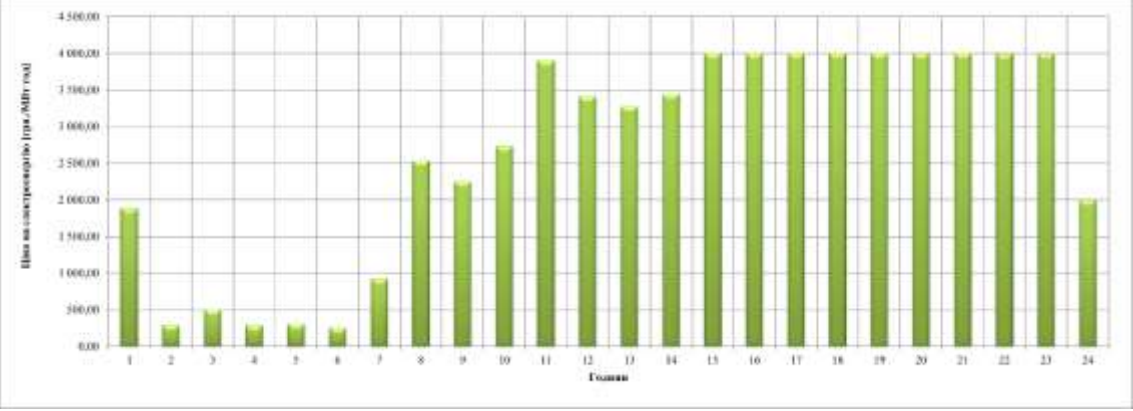
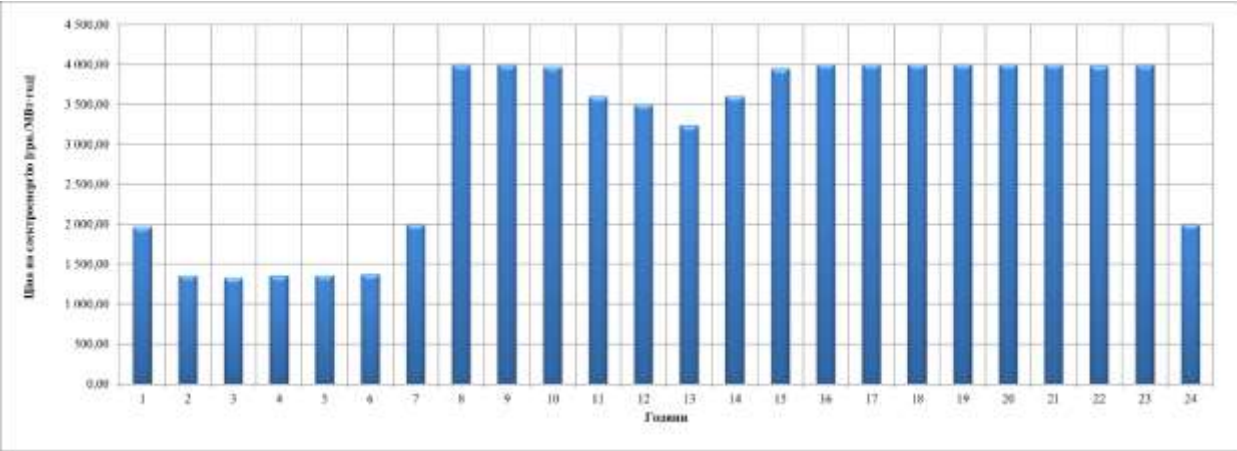
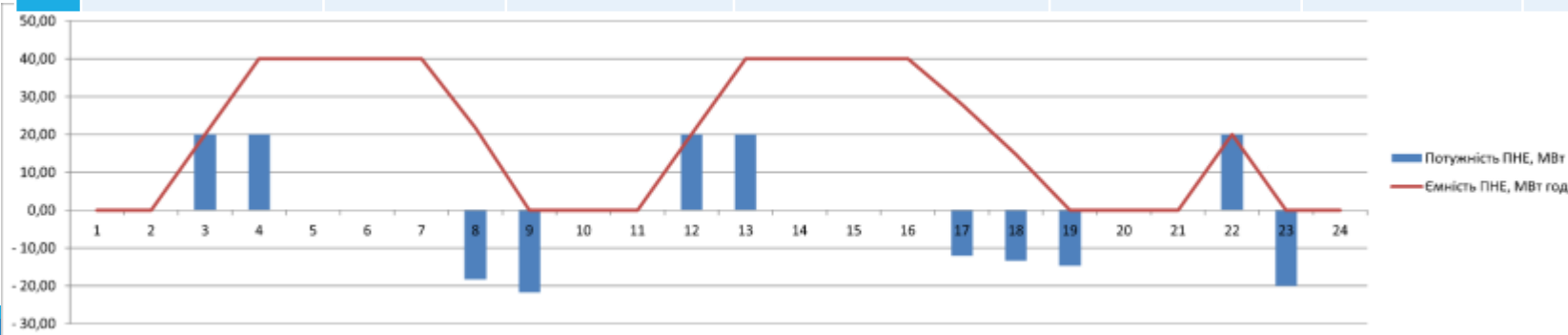


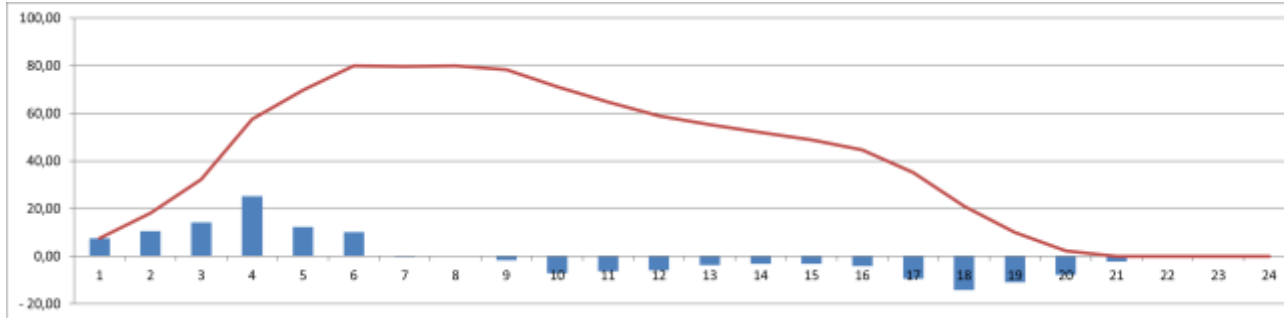
Рисунок 3 – Коливання ціни на електроенергію у вихідний день

№	Ємність ПНЕ, МВт·год	Зниження витрат, %	Дохід, тис. грн./рік	Капітальні витрати, тис. грн./рік	Відрахування, тис. грн./рік	Амортизація, тис. грн./рік	Чистий грошовий потік, тис. грн./рік	Рентабельність, в.о	Термін окупності, рік
1	4	0,21	3 443,5	39 000	1170	2808	4 223,5	0,124	8,3
2	8	0,42	6 187,0	78 000	6 240	7 800	7 747,0	0,0963	9,07
3	12	0,63	8 930,4	117 000	9 360	11 700	11 270,4	0,0948	10,38
4	16	0,84	11 673,3	156 000	12 480	15 600	14 793,3	0,0939	10,55
5	20	1,05	14 418,7	195 000	15 600	19 500	18 318,7	0,0933	10,64
6	24	1,26	17 162,5	234 000	18 720	23 400	21 842,5	0,0929	10,71
7	28	1,47	19 905,4	273 000	21 840	27 300	25 365,4	0,0926	10,76
8	32	1,68	22 649,0	312 000	24 960	31 200	28 889,0	0,0923	10,80
9	36	1,89	25 393,3	351 000	28 080	35 100	32 413,3	0,0921	10,83
10	40	2,10	28 133,7	390 000	31 200	39 000	35 933,7	0,0993	10,85

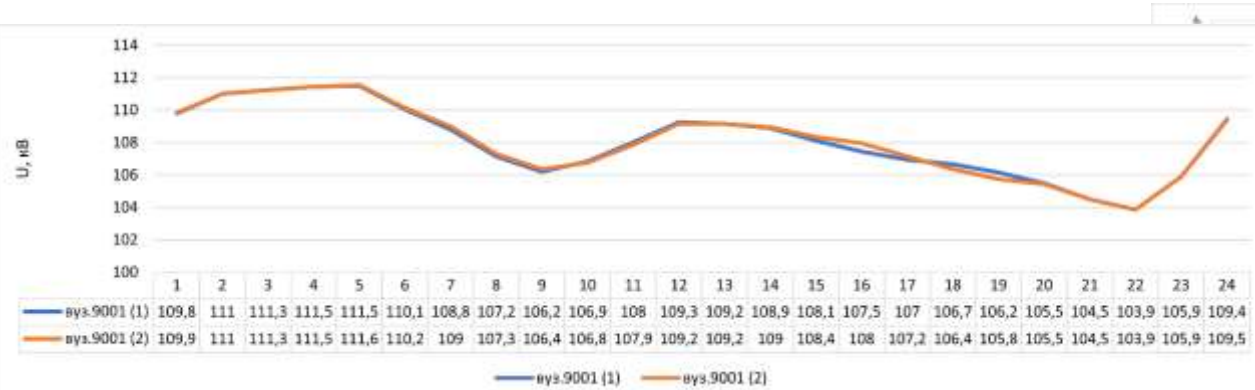
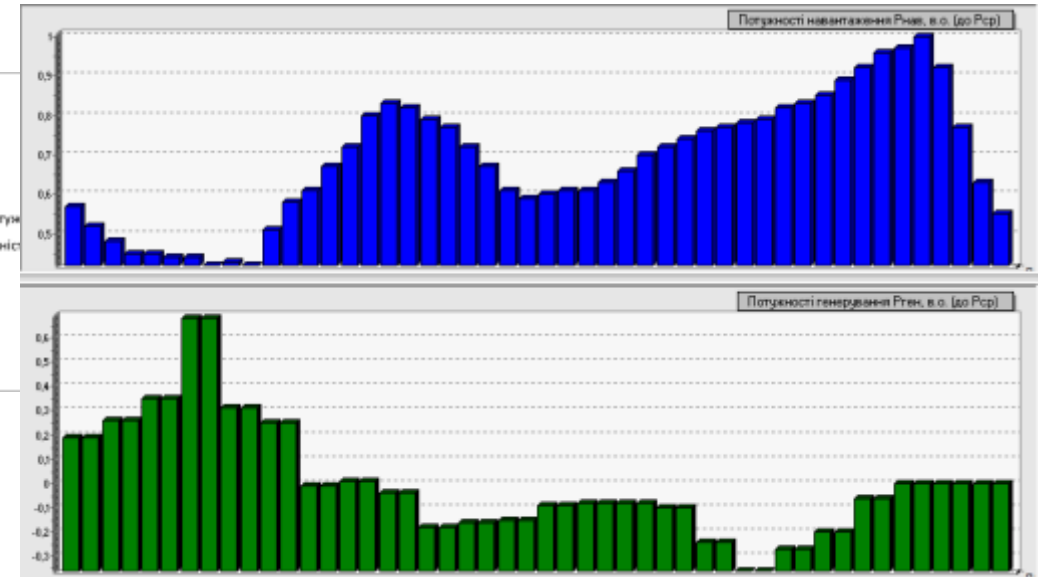


Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 40 МВт год упродовж доби

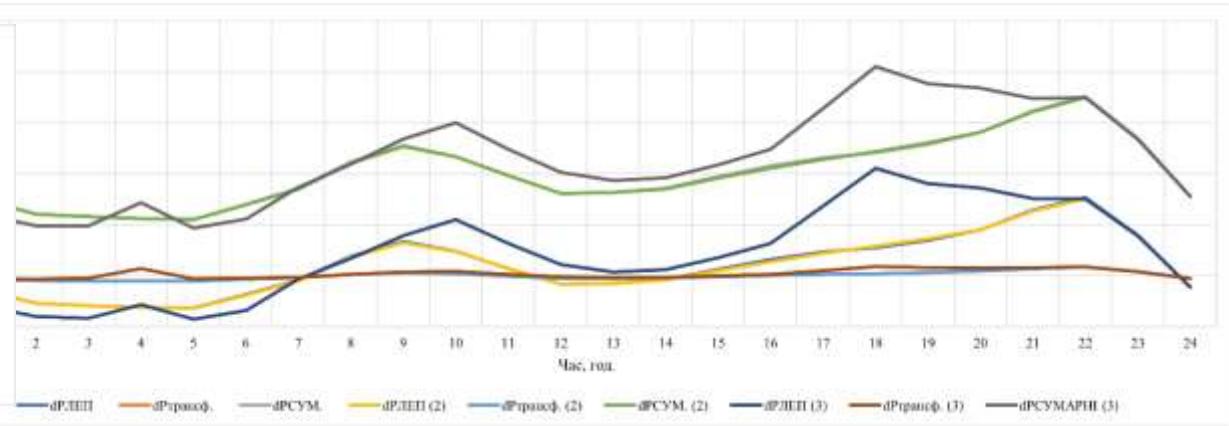
Використання промислового накопичувача електроенергії для вирівнювання графіків навантаження



Графік заряду-розряду ПНЕ ємністю 80 МВт год упродовж доби



Вплив ПНЕ на значення напруги у вузлах



Загальне порівняння втрат в мережі до та після встановлення ПНЕ

Висновки

Системи накопичення енергії довели свою комерційно життєздатну технологію зберігання енергії. До недавнього часу висока вартість і низька ефективність передачі в обох напрямках перешкоджали масовому розгортанню промислової системи накопичення електроенергії. Проте збільшення використання літій-іонних акумуляторів у побутовій електроніці та електромобілях призвело до розширення глобальних виробничих потужностей, що призвело до значного зниження витрат, які, як очікується, триватимуть протягом наступних кількох років. У світі ефективність встановлення ПНЕ була доведена на практиці, як для невеликих установок за лічильником, так і для великомасштабних розгортань на рівні мережі. Промислові системи накопичення електроенергії можна використовувати для вирішення проблем, пов'язаних із широкомасштабною інтеграцією відновлюваної енергії в мережі.

По-перше, ПНЕ технічно краще підходять для регулювання частоти, ніж традиційні обертові резерви від електростанцій.

По-друге, відсутність виробництва електроенергії з відновлюваних джерел часто не задовольняє попит на електроенергію, надлишок електроенергії слід або скоротити, або надлишок електроенергії можна зберігати в ПНЕ, для подальшого споживання, коли генерація відновлюваної енергії низька, а попит на електроенергію високий.

Загалом ПНЕ можуть підвищити ефективність операторів системи розподілу. Досягнення бажаних покращень, таких як економія енергії, зменшення витрат на розподіл, оптимальне управління попитом і управління якістю електроенергії, або вдосконалення розподільної мережі шляхом впровадження ПНЕ може бути виконано шляхом оптимального розміщення ПНЕ, вибору розмірів і роботи в розподільній мережі. Оптимальне розміщення промислових систем накопичення електроенергії, а також їх розміри та експлуатація є дуже важливими для більшої інтеграції ВДЕ в розподільчу мережу та, таким чином, для зменшення викидів парникових газів.