

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ А. А. Марченко
(підпис)
“ 13 ” червня 2023 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою**

«Управління, захист, та автоматизація енергосистем»

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: «Підвищення ефективності акумуляторних систем накопичення енергії в розподільних електричних мережах»

Виконав:

студент IV курсу, групи ЕК-91
Грушевий Роман Андрійович

(підпис)

Керівник:

доцент, к.т.н.
Нестерко Артем Борисович

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма – Управління, захист, та автоматизація енергосистем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

(підпис)

« 13 » червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Грушевому Роману Андрійовичу

1. Тема проєкту «Підвищення ефективності акумуляторних систем накопичення енергії в розподільних електричних мережах», керівник проєкту Нестерко Артем Борисович, к.т.н., затверджені наказом по університету від «25» травня 2023 р. № 1969-с
2. Термін подання студентом проєкту 13 червня 2023 р.
3. Вихідні дані до проєкту Довідкові матеріали . Література та посилання.
4. Зміст пояснювальної записки. 1) Вивчення режимів застосування АСНЕ; 2) Визначення параметрів для моделювання системи накопичення; 3) Розробка моделі системи накопичення; 4) Моделювання, дослідження, розрахунок коефіцієнта нерівномірності та тарифів; 5) Аналіз результатів досліджень.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1) Режими роботи акумуляторних систем накопичення енергії, 2) Схема головних з'єднань моделі акумуляторної системи накопичення енергії, 3) Результати тестування системи накопичення в різних режимах

6. Дата видачі завдання 25 травня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вивчення режимів застосування систем накопичення енергії	11.05.2023 – 17.05.2023	
2	Вивчення складових систем накопичення для подальшого моделювання	17.05.2023 – 22.05.2021	
3	Розробка моделі акумуляторної системи накопичення енергії	22.05.2021 – 28.05.2021	
4	Оцінка режимів роботи моделі системи накопичення енергії	28.05.2021 – 07.06.2023	
5	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	07.06.2023 – 11.06.2023	
6	Виконання схеми головних з'єднань моделі	11.06.2023 – 13.06.2023	
7	Проведення попереднього захисту	13.06.2023	

Студент

(підпис)

Роман ГРУШЕВИЙ

Керівник проекту

(підпис)

Артем НЕСТЕРКО

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.ЕК9104.004.ДБ	Пояснювальна записка	67	
3	A1	141.ЕК9104.004.ТК1	Режими роботи акумуляторних систем накопичення енергії	1	
4	A1	141.ЕК9104.004.ТК2	Схема головних з'єднань моделі акумуляторної системи накопичення енергії	1	
5	A1	141.ЕК9104.004.ТК3	Результати тестування системи накопичення в різних режимах	1	

					<i>141.ЕК9104.004.ДБ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Грушевий Р. А.</i>			<i>13.06.2023</i>	<i>Відомість дипломного проекту</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>	<i>Нестерко А. Б.</i>			<i>13.06.2023</i>			<i>3</i>	<i>1</i>
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ізоря Сікорського ФЕА гр. ЕК-91</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Настенко Д.В.</i>			<i>13.06.2023</i>				
<i>Затвердив</i>	<i>Марченко А.А.</i>			<i>13.06.2023</i>				

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

на тему: «Підвищення ефективності акумуляторних систем накопичення енергії в розподільних електричних мережах»

Київ – 2023 року

1 ОЦІНКА НАЙЕФЕКТИВНІШИХ РЕЖИМІВ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

1.1. Оцінка паралельної роботи систем накопичення з ВДЕ

Установки, засновані на відновлюваних джерелах енергії, часто використовуються поряд зі звичайним виробництвом електроенергії, наприклад, дизельними електростанціями (ДЕС). Це можна пояснити змінною (іноді складною) природою потужності, яку вони виробляють з часом. ВЕС може генерувати постійний рівень мінімально необхідної потужності («базовий режим») або генерувати додаткову потужність при недостатній потужності ВДЕ (рис. 1.1, а).

Ця енергетична система має два основних недоліки: ДЕС схильний до коливань потужності навантаження, що призводить до збільшення витрат на паливо та більш швидкого зниження ресурсу двигуна. Крім того, ДЕС, очевидно, не може отримувати електроенергію, тому навантаження на систему завжди перевищує пікове значення виробництва електроенергії з ВДЕ, що обмежує застосування.

Результатом цих факторів є низькі коефіцієнти використання встановленої потужності відновлюваної енергетики, низькі економічні показники використання відновлюваної енергії та проблеми з якістю електроенергії (особливо в малих автономних енергосистемах).

Використання СНЕ в таких енергосистемах дозволяє включити можливість координації генерації та планування навантаження (рис. 1, б). Таким чином, ДЕС може працювати фактично в «базовому режимі» без зміни потужності, зниження витрати палива і використання ресурсів двигуна.

					14.1.ЕК9104.004.ДБ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Грушевий Р. А.		13.06.2023	ОЦІНКА НАЙЕФЕКТИВНІШИХ РЕЖИМІВ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Нестерко А. Б.		13.06.2023			13	67
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА гр. ЕК-91		
Н. Контр.		Настенко Д.В.		13.06.2023				
Затвердив		Марченко А.А.		13.06.2023				

Системи накопичення енергії також можуть бути джерелом керованої потужності, оскільки вони підвищують стабільність паралельної роботи та приймають надлишкову потужність під час піків генерації [2].

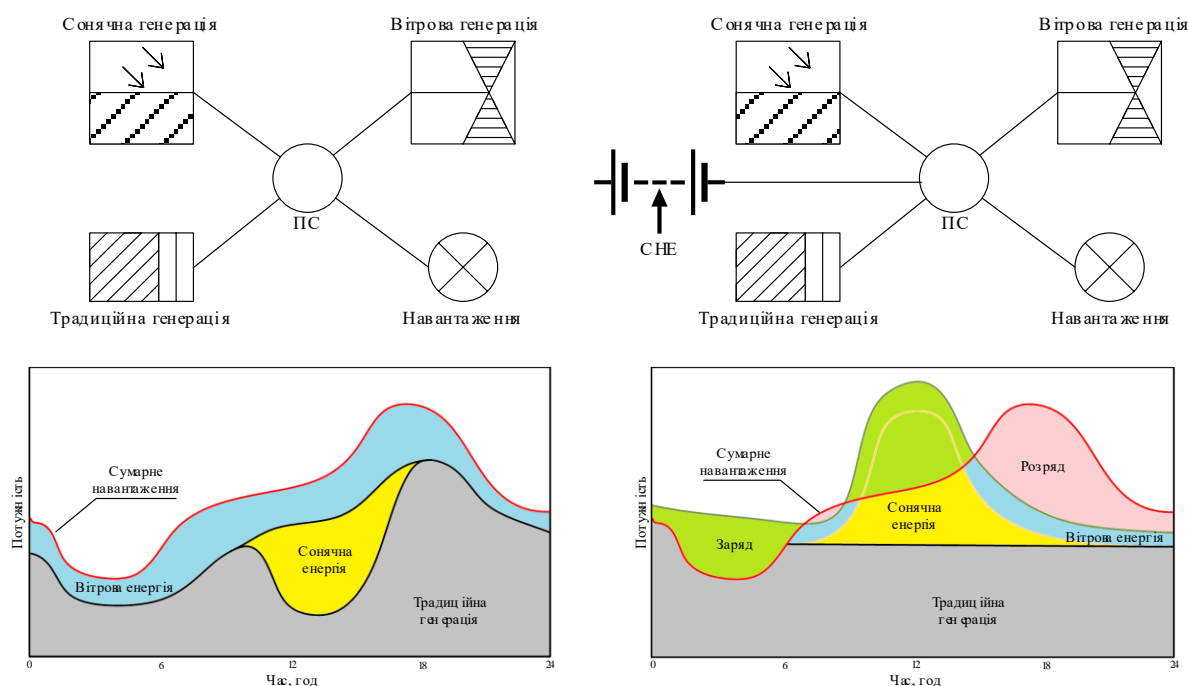


Рисунок 1.1 – Баланси виробництва та споживання для енергетичних систем ВДЕ без СНЕ (а) та із СНЕ (б)

Таким чином, СНЕ дозволяє ефективно інтегрувати пристрої на основі електроенергії в енергетичні системи, одночасно покращуючи економічні та технічні показники.

Крім того, СНЕ також можна використовувати як частину енергетичної системи, яка використовує тільки енергію вітру та сонця.

Графік роботи сонячної енергії залежить від погоди та часу доби, що є основною проблемою сонячної енергії. Використання накопичувачів узгоджує графіки подачі навантаження з графіками споживання. У періоди надлишкової генерації СНЕ заряджаються, а потім розряджаються в періоди недостатньої генерації (рис. 1.2) [2].

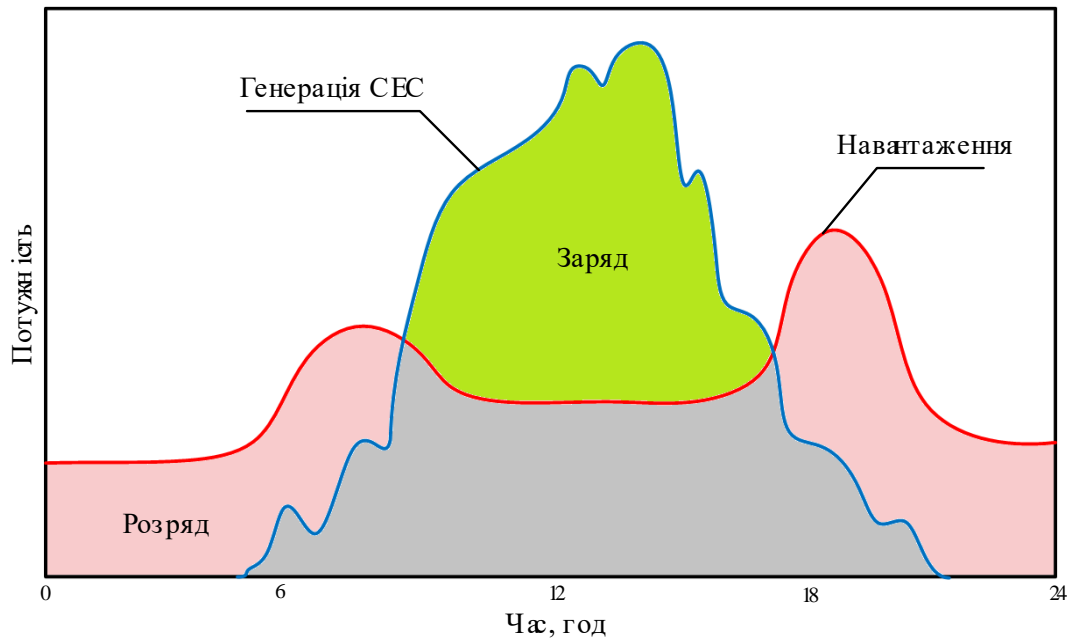


Рисунок 1.2 – Діаграма енергоспоживання СНЕ, що працює паралельно з сонячною електростанцією

Завдання прогнозування графіка генерації потужності є основною проблемою вітрогенерації. СНЕ дозволяє поєднати графік генерації з графіком навантаження (рисунок 1.3) [2].

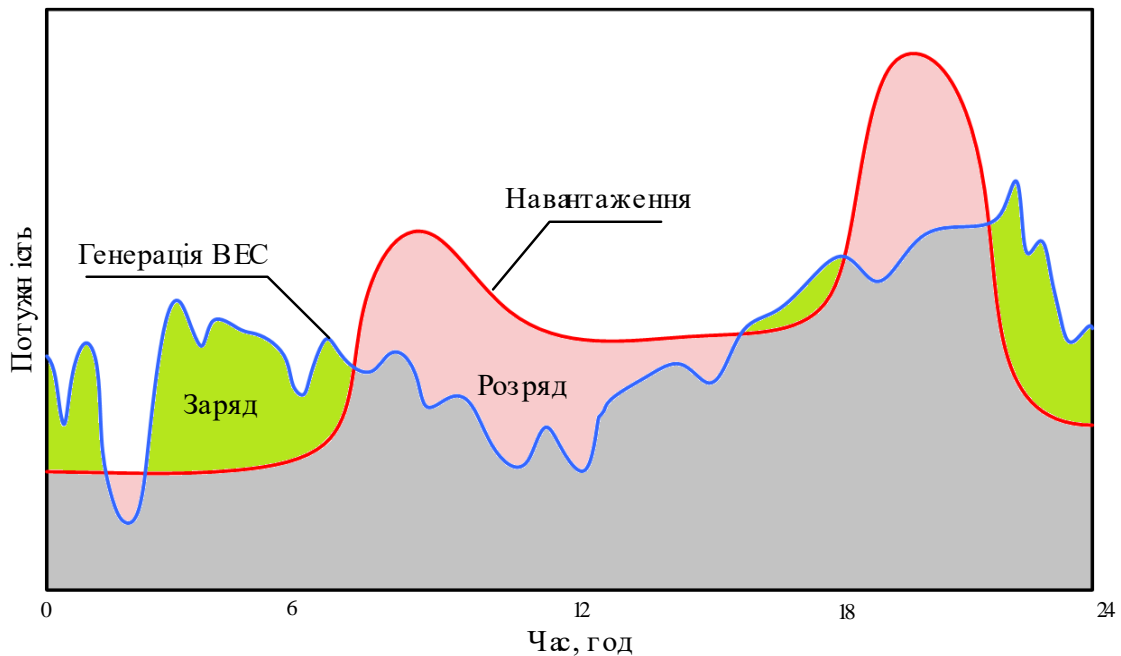


Рисунок 1.3 – Графік паралельної роботи СНЕ з ВЕС

навантаження трансформаторів на підстанціях, даючи можливість для підключення нових споживачів або інших цілей.

- При проектуванні автономних енергосистем для зниження необхідної потужності генераторів. Включення СНЕ у проект дозволяє зменшити пікову потужність навантаження і використовувати генеруючі установки меншої потужності.
- Для зниження втрат у довгих розподільчих лініях. Великі втрати у лініях електропередачі до віддалених споживачів, зазвичай, пов'язані з високим навантаженням. Використання СНЕ у таких випадках призводить до значного зменшення втрат (рисунок 1.5).

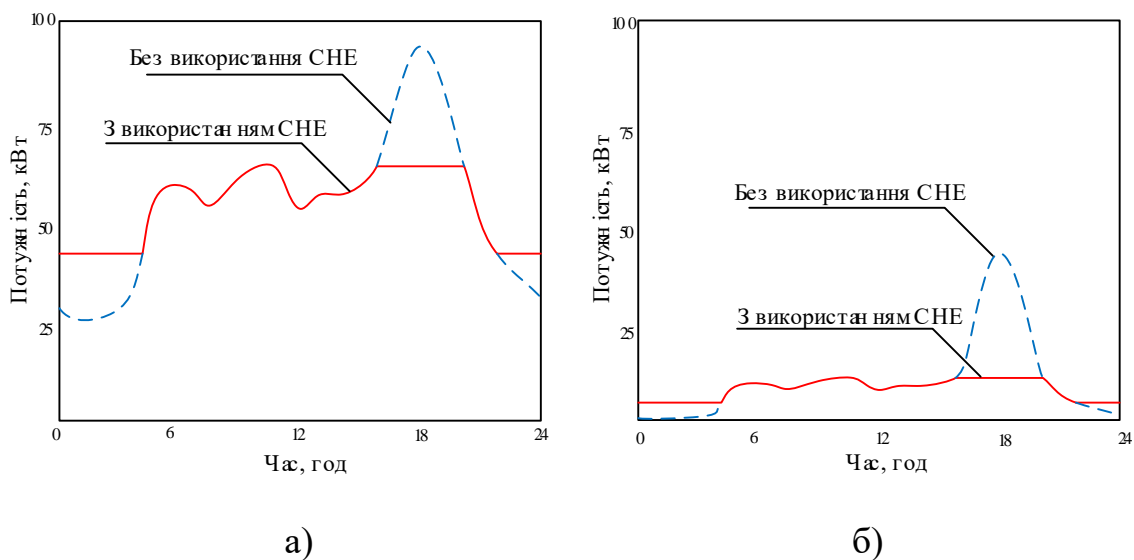


Рисунок 1.5 – Навантаження фідера (а) і та залежність його втрат (б) без СНЕ та із СНЕ

1.2 Режим обмеження швидкості зміни потужності

Реакція генераторів різних типів на відключення/запуск навантаження є суттєвою проблемою, яка створює проблему, яка обмежує практичність використання деяких генераторів на промислових об'єктах, які мають швидкозмінне навантаження. Деякі генератори через технологічні обмеження мають обмежену здатність витримувати перепуск і перезавантаження. Для інших генераторів, таких як дизельні генератори,

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

підвищене споживання палива та ресурсів пов'язане з процесом. Демпфірування потужності пікового навантаження усуває обмеження, пов'язані з використанням будь-якого джерела генерації електроенергії.

Для вирішення певної проблеми використання СНЕ у режимі обмеження швидкості зміни потужності під час завантаження або розвантаження, наприклад, при увімкненні або вимкненні потужного навантаження, може включати розсіювання або генерацію додаткової потужності, яка потім гарантує плавну роботу генератора і запобігає відхиленню частоти [2].

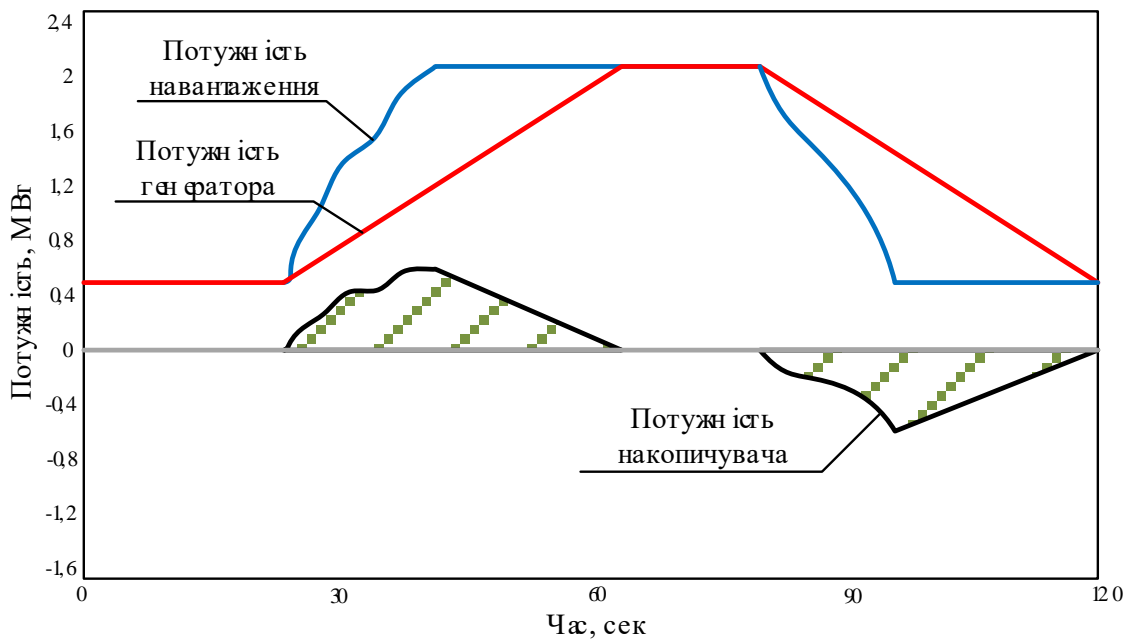


Рисунок 1.6 – Навантаження (синій), генерації (червоний) і СНЕ (чорний) при обмеженні швидкості зміни потужності

1.3 Компенсація нерегулярних коливань потужності в енергосистемах

Під час планування режимів складаються розрахункові графіки генерації, які покривають прогнозну криву навантаження.

Для фактичної кривої характерні нерегулярні коливання потужності (рисунок 1.7), зумовлені невідповідністю між генерацією і споживанням у поточному режимі енергосистеми, які мають випадковий характер, відповідний нормальному закону розподілу.

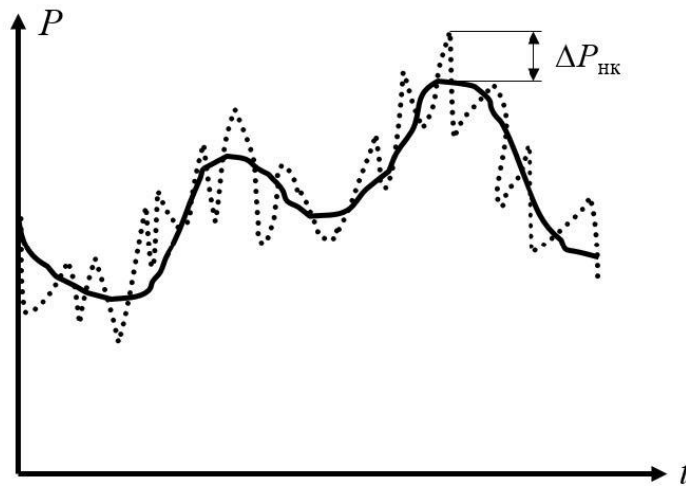


Рисунок 1.7 - Прогнозний графік навантаження і нерегулярні коливання активної потужності

Системи можуть застосовуватися для компенсації потужності нерегулярних коливань. Це призведе до значного підвищення запасу статичної стійкості [4].

1.4 Характеристики основних підсистем АСНЕ

Система накопичення енергії складається з трьох основних підсистем:

- система перетворення енергії,
- система зберігання енергії,
- система керування акумулятором.

Система перетворення енергії складається з трифазного мостового мостового перетворювача, який з'єднує систему акумуляторних батарей з електричною мережею мережею.

BMS (Battery Management System) використовується для моніторингу та вимірювання продуктивності енергосистеми, таких як напруга, струм і температура.

Акумуляторна система зберігання енергії з неправильним станом заряду може бути надмірно заряджена або розряджена. Це може призвести до пошкодження системи, скорочення терміну служби або навіть спричинити пожежу чи вибух. Система керування акумулятором буде

обмінюватися даними з перетворювачем, станом заряду і станом стану здоров'я.

Коли стан заряду дорівнює 1, система накопичення повністю заряджена. Система накопичення енергії повинна призупинити заряджання системи зберігання, щоб уникнути пошкодження акумуляторів. Коли стан заряду дорівнює 0, система зберігання розряджена повністю. Система зберігання енергії повинна припинити розряджання акумуляторів, коли система розрядиться.

Залежно від функцій СНЕ і складу її підсистем, їхня комплектність, конструктивне виконання можуть варіюватися.

Але для будь-якої реалізації АСНЕ необхідно провести техніко-економічне обґрунтування за допомогою моделювання. Побудова моделі вимагає поглиблених знань самих компонентів системи, таких як контролер заряду-розряду, проектування системи перетворення енергії та акумулятора. Через складність моделі процесу симуляції може знадобитися декілька годин для завершення.

В дипломній роботі представлено детальну розробку моделі АСНЕ у середовищі MATLAB/Simulink. Для моделювання використовується логіко-чисельний підхід. Такий підхід виключає складність процесу реалізації схемотехніки електронного перетворювача, алгоритму управління та тривалого часу обчислень, що значно спрощує процес моделювання завдяки використанню простих логічних і математичних функцій.

Висновки

В даному розділі наведено найефективніші режими застосування акумуляторних накопичувачів, а також склад основних підсистем.

Розглянуті режими застосування систем накопичення енергії мають великий потенціал для оптимізації та ефективного використання енергетичних ресурсів. Ці системи можуть допомогти зберегти та

									Арк.
									20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	14.1.EK9104.004.ДБ				

перерозподілити енергію, зменшити залежність від традиційних джерел енергії та знизити негативний вплив на довкілля.

Використання систем накопичення енергії може сприяти стабілізації енергетичних мереж, зокрема в ситуаціях пікових навантажень або переривань у постачанні енергії. Це може допомогти знизити витрати на енергетичне управління та покращити надійність постачання електроенергії.

Ефективність систем накопичення енергії залежить від режиму їх застосування. Наприклад, використання систем з великою ємністю для довготривалого зберігання енергії може бути більш вигідним для стабілізації енергетичної системи, тоді як системи з високою потужністю можуть бути більш ефективними для згладжування швидких змін навантаження.

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

2 ПАРАМЕТРИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Проектування СНЕ залежить від топології електричної мережі, а також від потужності навантаження і генерації електроенергії, передбаченої в ТПН. Функціональність і призначення під'єднуваної СНЕ індивідуальні в кожному розглянутому варіанті. Залежно від розв'язуваних завдань до СНЕЕ можуть бути пред'явлені технічні вимоги щодо:

- функціональності (покриття пікових навантажень, забезпечення необхідної частоти, режим роботи віртуальної синхронної машини та ін.);
- параметрами підсистеми накопичення енергії (енергоємність, потужність та ін.);
- параметрам підсистеми перетворення енергії (час відгуку, контроль статизму, потужність, потужність короткого замикання та ін.);
- параметрам підсистеми захисту.

Для розроблення оптимального рішення, підвищення адаптивності та ефективності функціонування системи вимоги до СНЕЕ мають бути чітко визначені. Також необхідно враховувати вимоги електричної мережі. На етапі проектування, на системному рівні та після уточнення застосунку мають бути визначені вимоги до СНЕЕ шляхом задавання вимог до відповідних робочих характеристик СНЕЕ, включно з:

- нормовану вхідну та вихідну потужність;
- короткочасну вхідну і вихідну потужність;
- нормовану енергоємність;
- час відгуку;

					<i>14.1.ЕК9104.004.ДБ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Грушевий Р. А.</i>		<i>13.06.2023</i>	<i>ПАРАМЕТРИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Нестерко А. Б.</i>		<i>13.06.2023</i>			22	64
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА гр. ЕК-91</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Настенко Д.В.</i>		<i>13.06.2023</i>				
<i>Затвердив</i>		<i>Марченко А.А.</i>		<i>13.06.2023</i>				

- енергоспоживання допоміжною підсистемою;
- саморозряд;
- ефективність заряду-розряду;
- ефективність заряду-розряду робочого циклу;
- час відновлення;
- значення показників робочих характеристик наприкінці терміну служби.

Цей розділ допомагає проектувальнику задати технічні вимоги таким чином, щоб у виробників СНЕ була вся необхідна інформація для конструктивного виконання системи, і містить дані, необхідні для оцінки робочих характеристик СНЕ. Це гарантує, що замовники отримають усю необхідну інформацію від виробника (постачальника) СНЕ, включно з вимогами до технічного обслуговування та значеннями показників робочих характеристик наприкінці терміну служби, відповідно до завдань, які планується покласти на СНЕ.

Як правило, значення нормованих робочих характеристик необхідні для завдання технічних вимог, що встановлюються для певного набору робочих умов компонентів, пристроїв, обладнання або систем. Під час задавання нормованих значень з метою проектування СНЕЕ необхідно враховувати критичні робочі межі діаграми потужності, погіршення робочих характеристик унаслідок старіння, зміну умов довкілля та інші обмежувальні фактори. Усі нормовані значення під час проектування СНЕЕ мають відповідати значенням наприкінці її терміну служби.

На етапі проектування також має бути визначений і врахований коефіцієнт експлуатаційної готовності.

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

2.1 Критерії вибору потужності систем накопичення

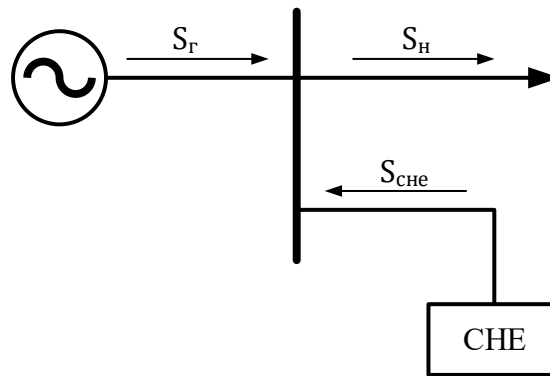


Рисунок 2.1 – Баланс потужності у вузлі СНЕ

На рисунку 2.1 бачимо схему балансу потужності у вузлі підключення активно-адаптивної системи електропостачання (СНЕ). Вхідна потужність, яка надходить до вузла, позначається як S_G , (потужність генерації), тоді як вихідна потужність, що виходить з вузла, позначається як S_H (потужність навантаження). У реальності ці показники можуть відображати лише потужність, що надходить до вузла, та потужність, що виходить з вузла. Ми будемо вважати, що режим видачі потужності СНЕ відповідає позитивному напрямку потужності і позначатимемо його як $S_{СНЕ}$. Це зображення демонструє баланс потужності у вузлі.

$$S_G + S_{СНЕ} = S_H \quad (1)$$

Зауважимо, що в цьому випадку коефіцієнти потужності генерації, навантаження та СНЕ залишаються рівними. В іншому випадку необхідно використовувати комплексні величини або проводити окремий розрахунок активної та реактивної потужності.

Візьмемо бажаний графік потужності генерації $S_G(t) = S_{б\text{аж}}(t)$. В такому разі, формула (1) перетвориться:

$$S_{СНЕ}(t) = S_H(t) - S_{б\text{аж}}(t)$$

Відповідно, потужність СНЕ $S_{СНЕ\text{ ном}}$ повинна обиратися:

$$S_{СНЕ\text{ ном}} = \max|S_H(t) - S_{б\text{аж}}(t)|$$

Для прикладу візьмемо інший випадок. Нехай необхідний графік потужності навантаження $S_H(t) = S_{\text{баж}}(t)$. Формула (1), відповідно, набуде вигляду:

$$S_{\text{снє}}(t) = S_{\text{баж}}(t) - S_{\Gamma}(t)$$

Таким чином, $S_{\text{снє ном}}$ повинна бути обрана:

$$S_{\text{снє ном}} = \max|S_{\text{баж}}(t) - S_{\Gamma}(t)| = \max|S_{\Gamma}(t) - S_{\text{баж}}(t)|$$

Таким чином, у обох випадках номінальна потужність СНЕ використовується як максимальний модуль, який компенсує різницю між поточною потужністю $S_{\text{пот}}$ і бажаною потужністю на розглянутому часовому відрізьку:

$$S_{\text{снє ном}} = \max|S_{\text{пот}}(t) - S_{\text{баж}}(t)| \quad (2)$$

Формула вибору номінальної потужності (2) може набувати таких видів залежно від задачі, розв'язуваної за допомогою СНЕ.

Якщо використовується СНЕ для обмеження максимальної потужності, якщо $S_{\text{макс}} > S_{\text{макс баж}}$ ($S_{\text{макс баж}}$ – обмеження максимальної потужності):

$$S_{\text{снє ном}} = S_{\text{макс}} - S_{\text{макс баж}}$$

Коли використовується СНЕ для обмеження потужності в певному діапазоні, якщо $S_{\text{макс}} > S_{\text{макс баж}}$ та $S_{\text{мін}} < S_{\text{мін баж}}$:

$$S_{\text{снє ном}} = \max(S_{\text{макс}} - S_{\text{макс баж}}; S_{\text{мін баж}} - S_{\text{мін}}),$$

Незважаючи на можливість додаткових варіантів, логіка, яка виражена у формулі (2), залишається незмінною.

Можливе включення у формулу коефіцієнту запасу $k_{\text{зап}}$ в разі невизначеності вихідних даних або передбачуваного зростання навантаження з плином часу.

$$S_{\text{снє ном}} = k_{\text{зап}} \cdot \max|S_{\text{пот}}(t) - S_{\text{баж}}(t)|$$

2.2 Критерії вибору ємності систем накопичення

Ємність накопичувача визначається за такими критеріями:

									Арк.
									25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

14.1.EK9104.004.ДБ

- Оскільки потужність СНЕ напряму залежить від енергоємності, вона повинна забезпечити покриття навантаження.
- Забезпечення енергоємності, необхідної для власних потреб.

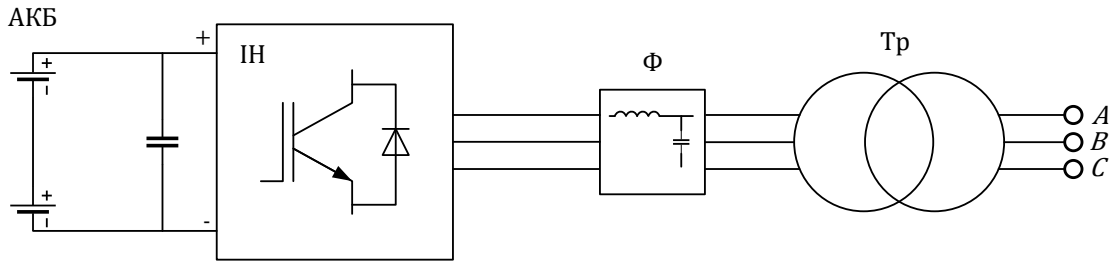


Рисунок 2.2 – Схема АСНЕ: ІН – інвертор напруги; Ф – фільтр;
АКБ – акумуляторна батарея; Тр – трансформатор

Потужність СНЕ залежить від потужності підсистеми накопичення енергії та перетворювача, а також від тривалого допустимого струму акумуляторних батарей. Крім того, багато факторів, включаючи кількість акумуляторних батарей, схему з'єднання та їхню кількість, впливають на потужність СНЕ.

Розглянемо послідовність розрахунків для визначення енергоємності, яка забезпечує можливість визначення вибраної номінальної потужності СНЕ $S_{\text{СНЕ ном}}$.

Для визначення границі мінімальної ємності акумуляторної батареї (АКБ) необхідно знати номінальну напругу ланцюга постійного струму U_{DC} , В:

$$U_{DC \text{ ном}} = U_{\text{акб ном}} \cdot N$$

де $U_{\text{акб ном}}$ – ном. напруга одного акумулятора, В,

N – кількість послідовних приєднань.

N встановлюється таким чином, щоб за різними рівнями заряду акумуляторів напруга в ланцюгу постійного струму залишалася в дозволених межах.

$$\begin{cases} U_{\text{акб мін}} \cdot N > U_{DC \text{ мін доп}} \\ U_{\text{акб макс}} \cdot N < U_{DC \text{ макс доп}} \end{cases}$$

де $U_{акб\ мин}$ – мін. напруга акумулятора, В,

$U_{DC\ мин\ доп}$ – мін. доп. напруга в ланці постійного струму, В,

$U_{акб\ макс}$ – макс. напруга акумулятора, В,

$U_{DC\ макс\ доп}$ – макс. доп.напруга в ланці постійного струму, В.

Ємність одного послідовного блока ($C_{п\ мин\ доп}$, А·год) визначається як мінімальна допустима, щоб забезпечити видачу підсистеми накопичення потужності $P_{акб}$, кВт:

$$C_{п\ мин\ доп} = \frac{1000 \cdot P_{акб}}{C_{rate} \cdot U_{DC\ ном}}$$

де C_{rate} – швидкість заряду/розряду, що допускається акумулятором щодо його номінальної ємності, о.о./год.

Визначається фактична ємність одного послідовного блоку ($C_{п\ факт}$, А·год) за формулою:

$$C_{п\ факт} = C_{акб\ ном} \cdot n \cdot t,$$

де $C_{акб\ ном}$ – номінальна ємність акумулятора, А·год,

n – число акумуляторів, які паралельно з'єднані в послідовному блоці одного стрингу, (n має бути в діапазоні від 1 до 4),

t – к-сть стрингів (зазвичай дорівнює кількості паралельно працюючих модулів).

Змінюючи параметри N , $C_{акб\ ном}$, n , t , необхідно отримати $C_{п\ факт} \geq C_{п\ мин\ доп}$.

Обравши $C_{п\ факт}$ можна розрахувати енергоємність СНЕ, яка була обрана за першою умовою, $E_{снел}$, кВт·год:

$$E_{снел} = C_{п\ факт} \cdot N \cdot \frac{U_{акб\ ном}}{1000} = C_{п\ факт} \cdot \frac{U_{DC\ ном}}{1000}$$

									Арк.
									27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	14.1.ЕК9104.004.ДБ				

2.3 Реалізація функцій систем накопичення енергії

Загалом для того, щоб СНЕ міг працювати ефективно, необхідно виконувати цю умову в кожен момент часу t_i на передбачуваному інтервалі часу $[t_1; t_2]$:

$$E_{\text{снe мін}} \leq E_{\text{снe}}(t_1) - \int_{t_1}^{t_i} P_{\text{акб}}(t) dt \leq E_{\text{снe макс}}, \quad (3)$$

де $E_{\text{снe мін}}$ – нижня границя зміни накопиченого заряду СНЕ, кВт·год,

$E_{\text{снe}}(t_1)$ – початкове значення накопиченого заряду СНЕ, кВт·год,

$P_{\text{акб}}(t) = \frac{P_{\text{снe}}(t)}{\eta_{\text{тр-ф}}}$ – потужність системи накопичення, кВт,

$E_{\text{снe макс}}$ - верхня границя зміни накопиченого заряду СНЕ в робочому режимі, кВт·год.

Щоб забезпечити довший термін служби акумуляторів зазвичай задається $E_{\text{снe мін}} = 0,1E'_{\text{снe ном}}$, $E_{\text{снe макс}} = 0,9E'_{\text{снe ном}}$, де $E'_{\text{снe ном}} = k_{\text{стар}}E_{\text{снe ном}}$ – енергоємність СНЕ з урахуванням деградації через старіння. Для вибору енергоємності необхідно розглядати кінець терміну служби, коли $k_{\text{стар}} = 0,8$.

У разі якщо реалізація розглянутої функції СНЕ передбачає регулярний заряд-розряд ($E_{\text{снe мін}} \rightarrow E_{\text{снe макс}} \rightarrow E_{\text{снe мін}}$), то для забезпечення тривалого (понад 10 років) терміну служби акумуляторів вибираються $E_{\text{снe мін}} > 0,1E'_{\text{снe ном}}$, $E_{\text{снe макс}} < 0,9E'_{\text{снe ном}}$.

Це тому, що режим експлуатації сильно впливає на термін служби батареї. Виробники регулюють термін служби за допомогою циклів з певною глибиною розряду. Наприклад, літій-залізо-фосфатні батареї GBS мають заявлений термін служби 3000 циклів за глибиною розряду 80%. Для досягнення максимального терміну служби акумуляторів в системі накопичення енергії (СНЕ) слід враховувати глибину розряду. Низька глибина розряду та регулярне балансування можуть сприяти збільшенню

									14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						28

терміну служби акумуляторів. Наприклад, при 70% глибині розряду можна досягти 4000-5000 циклів. Це означає, що акумулятори зазнають меншої деградації та можуть працювати протягом тривалого періоду. З іншого боку, якщо глибина циклів заряду-розряду невелика, то термін служби акумуляторів буде визначатися процесом деградації. За таких умов, при дотриманні виробником рекомендацій, включаючи регулярне балансування та контрольні розряди, термін служби акумуляторів може складати від десяти до двадцяти років.

$E_{\text{снє}}(t_1)$ обирається індивідуально залежно від планованого графіка зміни потужності СНЕ $E_{\text{снє мін}} \leq E_{\text{снє}}(t_1) \leq E_{\text{снє макс}}$.

Якщо існує доля невизначеності початкових даних, або у майбутньому можливе збільшення навантаження, то у формулу додається коеф. запасу $k_{\text{зап}} > 1$:

$$k_{\text{зап}} E_{\text{снє мін}} \leq E_{\text{снє}}(t_1) - \int_{t_1}^{t_i} P_{\text{акб}}(t) dt \leq \frac{E_{\text{снє макс}}}{k_{\text{зап}}}$$

Якщо при $E'_{\text{снє ном}} = k_{\text{стар}} E_{\text{снє I}}$ ($E_{\text{снє I}}$ – з п. 2.2) умова (3) виконується, то $E_{\text{снє ном}} = E_{\text{снє I}}$.

В іншому разі $E_{\text{снє ном розр}}$, кВт·год:

$$E_{\text{снє ном розр}} = \frac{E'_{\text{снє ном розр}}}{k_{\text{стар}}}$$

де $E'_{\text{снє ном розр}}$ – енергоємність, при якій виконується умова (3).

У найпростішому випадку, коли знаєте, скільки енергії потрібно для циклу «накопичення-видача» $E_{\text{ц}}$, кВт·год, умова (3) спрощується, і $E_{\text{снє ном розр}}$ можна розрахувати за такою формулою, кВт·год:

$$E_{\text{снє ном розр}} = \frac{E_{\text{ц}}}{k_{\text{стар}} (E_{\text{снє макс*}} - E_{\text{снє мін*}})}$$

де $E_{\text{снє макс*}}$ - верхня границя накопиченої енергії при роботі, в.о.,

$E_{\text{снє мін*}}$ - нижня границя накопиченої енергії при роботі, в.о.

									Арк.
									29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	14.1.EK9104.004.ДБ				

Далі, необхідно повторно вибрати $N, C_{\text{акб ном}}, n, t$ за більшою енергоємністю.

За деякого обраного N розраховується мінімально допустима ємність одного послідовного блока $C_{\text{п хв дод}}, \text{А}\cdot\text{год}$:

$$C_{\text{п хв дод}} = \frac{1000 \cdot E_{\text{сне ном розр}}}{U_{DC \text{ ном}}} = \frac{1000 \cdot E_{\text{сне ном розр}}}{U_{\text{акб ном}} \cdot N}.$$

Розраховується фактична ємність одного послідовного блока $C_{\text{п факт}}, \text{А}\cdot\text{год}$:

$$C_{\text{п факт}} = C_{\text{акб ном}} \cdot n \cdot t,$$

Варіюючи $N, C_{\text{акб ном}}, n, t$, необхідно отримати $C_{\text{п факт}} \geq C_{\text{п мін доп}}$.

За обраної $C_{\text{п факт}}$ розраховується номінальна енергоємність СНЕ, кВт·год:

$$E_{\text{сне ном}} = C_{\text{п факт}} N \frac{U_{\text{акб ном}}}{1000} = C_{\text{п факт}} \frac{U_{DC \text{ ном}}}{1000}.$$

Коли СНЕ використовується для виконання кількох функцій, але не одночасно, енергоємність вибирається для функції, яка потребує найбільшої кількості енергії.

Якщо СНЕ використовується для одночасного виконання кількох функцій, формула (3) повинна враховувати загальну потужність, яку підсистема накопичення віддає (або споживає) під час виконання цих функцій.

Висновки

В даному розділі було розглянуто параметри, необхідні для моделювання роботи систем накопичення енергії.

Для моделювання роботи систем накопичення енергії необхідно враховувати різні параметри, що впливають на їхню ефективність та продуктивність. Ці параметри включають ємність, потужність, ефективність зарядки та розрядки, час зарядки та розрядки, втрати енергії та інші.

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

Ємність системи накопичення енергії визначає обсяг енергії, який може бути збережений та використаний. Більша ємність дозволяє зберігати більше енергії, але може мати вплив на вартість та розміри системи.

Потужність системи накопичення енергії визначає швидкість, з якою енергія може бути надана або поглинута системою. Велика потужність дозволяє забезпечити швидку реакцію на зміни навантаження, але може бути пов'язана з великими втратами енергії.

Ефективність зарядки та розрядки системи накопичення енергії визначає, наскільки ефективно енергія може бути збережена та використана. Висока ефективність дозволяє мінімізувати втрати енергії під час процесу зарядки та розрядки.

Втрати енергії під час збереження та використання є істотним параметром для моделювання систем накопичення енергії. Мінімізація втрат допомагає підвищити ефективність та продуктивність системи.

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Платформою розробки для моделювання було обрано середовище MATLAB/Simulink. Модель повинна відтворювати функціональну поведінку СНЕ за допомогою простих логічних і математичних функцій.

Загальна структура моделі матиме три основні блоки: «Навантаження», «СНЕ» та «Мережа».

3.1 Модель блоку «Навантаження» системи накопичення енергії

Для реалізації графіку навантаження з середовища розробки було використано стандартний блок Simulink/Sources/From Workspace (рис. 10):



Рисунок 3.1 – Модель для зчитування графіків навантаження

У вікні праметрів конфігурації моделі необхідно вказати режим розв'язання з фіксованим кроком у 1. Це необхідно для погодинного або поденного відображення графіків навантаження.

За основу взято два профілі навантаження: комерційного офісу, записаний з погодинним інтервалом (рис. 3.2) та багатоповерхового будинку (рис. 3.3). Для їх інтеграції в модель необхідно в середовищі MATLAB створити файл у вигляді таблиці, де перший стовпець є годинами, а другий навантаженням [кВт·год]. Перед початком роботи з моделлю потрібно завантажити дані з таблиці у оперативну пам'ять середовища, та вказати у назву таблиці у блок From Workspace.

					<i>141.EK9104.004.ДБ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Грушевий Р. А.</i>		<i>13.06.2023</i>	РОЗРОБКА МОДЕЛІ АКУМУЛЯТОРНОЇ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ		
<i>Перевірив</i>		<i>Нестерко А. Б.</i>		<i>13.06.2023</i>			
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Настенко Д.В.</i>		<i>13.06.2023</i>			
<i>Затвердив</i>		<i>Марченко А.А.</i>		<i>13.06.2023</i>			
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						32	67
					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА гр. ЕК-91</i>		

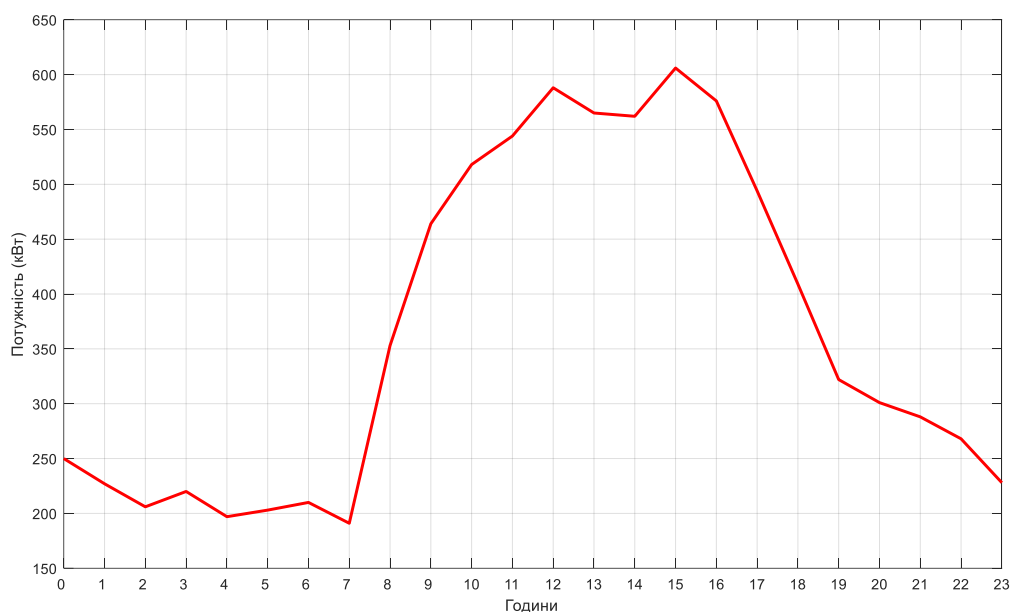


Рисунок 3.2 – Добовий графік навантаження комерційного офісу

Цей графік навантаження загалом споживає 8790 кВт·год за день і має пікову потужність о 15-й годині, що сягає 606 кВт. Характеристики даного графіку зазначені у розділі 4.

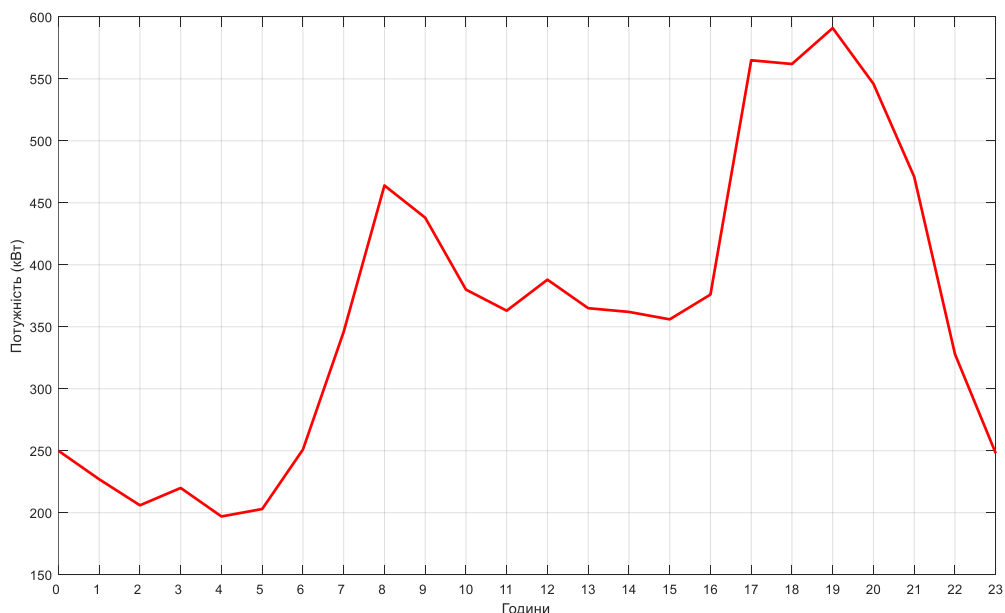


Рисунок 3.3 – Добовий графік навантаження багатоквартирного будинку

Цей графік навантаження загалом споживає 8703 кВт·год за день і має пікову потужність о 19-й годині, що сягає 591 кВт. Характеристики даного графіку зазначені у розділі 4.

3.2 Розробка моделі системи накопичення енергії

3.2.1 Розробка моделі контролера заряду-розряду

Контролер заряду-розряду керує тим, як СНЕ заряджає і розряджає батарею. Налаштування заряду і розряду в кВт віднімаються від допоміжної потужності системи, щоб гарантувати, що бажана потужність заряду або розряду буде врахована в допоміжній потужності BESS.

Налаштування заряду визначає, що коли споживання навантаження нижче налаштування заряду в кВт, система перетворення енергії почне заряджати батарею від мережі. Увімкнення та вимкнення заряду визначено в (4), де потужність заряду віднімається від потужності споживання навантаження, якщо результат позитивний, C_{en} увімкнено, і контролер заряду спрямовує необхідну потужність, отриману в результаті віднімання, на заряджання акумулятора через систему перетворення електроенергії. Якщо результат віднімання від'ємний, C_{en} вимикається:

$$C_{en} = \begin{cases} 0: & \text{if (уставка заряду - навантаження споживання)} < 0 \\ 1: & \text{if (уставка заряду - навантаження споживання)} \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Відповідна логіка реалізована через блок Constant (рис. 13), враховується також потужність власних потреб:

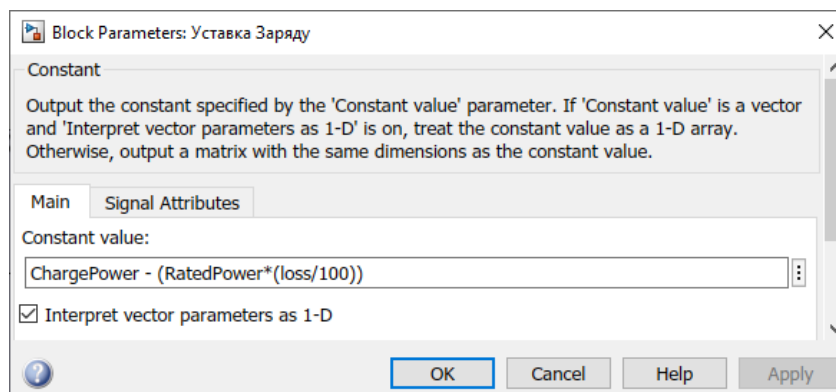


Рисунок 3.4 – Формула уставки заряду в контролері

Аналогічно, уставка розряду визначає, що коли споживання навантаження перевищує уставку розряду в кВт, система перетворення енергії почне розряджати енергію з акумулятора для живлення навантаження, що, в свою чергу, зменшить використання енергії з мережі. Увімкнення та вимкнення розряду визначається у формулі (5), де уставка розряду віднімається від потужності споживання навантаження, якщо результат від'ємний, то D_{en} увімкнено, і контролер розряду спрямовує необхідну результуючу потужність від віднімання на розряджання батареї через систему перетворення енергії до навантаження. Якщо результат віднімання позитивний, то D_{en} вимикається.

$$D_{en} = \begin{cases} 0: & \text{if (уставка розряду - навантаження споживання)} < 0 \\ 1: & \text{if (уставка розряду - навантаження споживання)} \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Вихід контролера заряду-розряду P_{cd} визначений у формулі (6), де C_{en} і D_{en} завжди спочатку доповнюють один одного, що означає, що заряд і розряд ніколи не можуть відбуватися одночасно. Блок додавання об'єднує виходи заряду і розряду в один вихід для системи перетворення енергії.

$$P_{cd} = [(уставка заряду - навантаження споживання) \cdot C_{en}] + [(уставка розряду - навантаження споживання) \cdot D_{en}]. \quad (6)$$

Загальний вигляд моделі контролера заряду-розряду зображений на рис. 3.5:

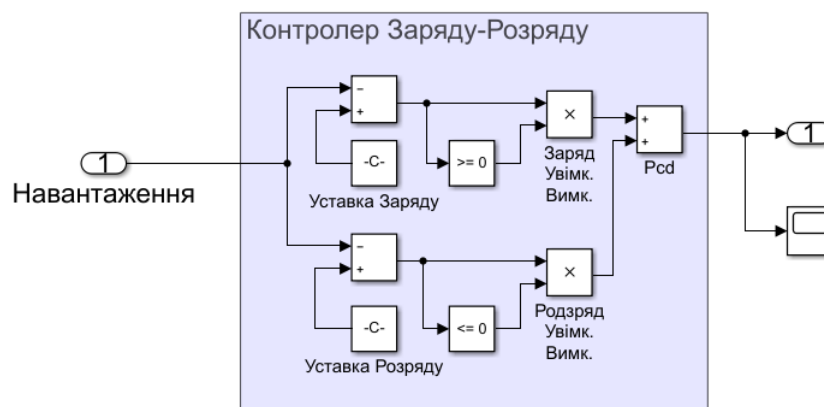


Рисунок 3.5 – Модель контролера заряду-розряду системи накопичення енергії

Для прикладу, візьмемо профіль навантаження комерційного офісу (рис. 3.6). В якості початкових налаштувань використаємо режим обмеження максимальної споживаної потужності (п. 4.3.). Ємність батареї встановлена на рівні 2000 кВт·год з початковим рівнем заряду 30%, ефективність системи перетворення енергії встановлена на рівні 90%, допоміжна потужність системи для запуску BESS становить 5% Уставки заряду-розряду встановлені на 300 кВт, потужність АСНЕ становить 250 кВт. Відповідно, потужність заряду-розряду P_{cd} на виході з контролера зображена на рис. 15:

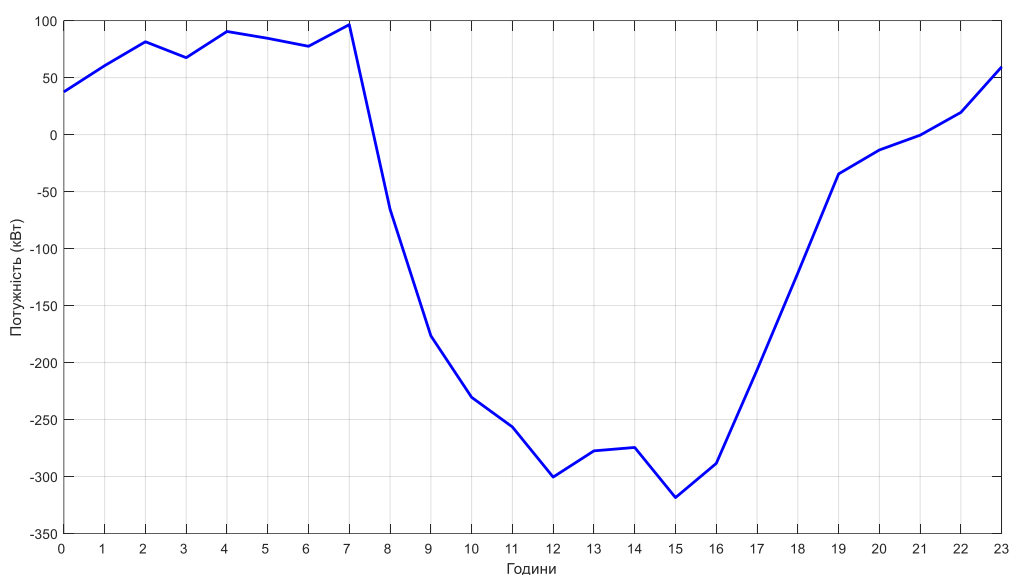


Рисунок 3.6 – Графік потужності заряду-розряду P_{cd} на виході з контролера

Найбільша потужність заряду з урахуванням потужності власних потреб АСНЕ складає 96,5 кВт·год о сьомій годині, коли споживання з мережі найменше. Найбільша потужність розряду склала відповідно 318,5 кВт·год о п'ятнадцятій годині.

3.2.2 Розробка моделі системи перетворення енергії

Система перетворення енергії знаходиться між контролером заряду-розряду, акумулятором, навантаженням і мережею. Вона спрямовує вихід контролера заряду-розряду на заряджання акумулятора від мережі або розряджання акумулятора для живлення навантаження. На вхід системи перетворення енергії подається потужність контролера заряду-розряду в кВт, аналогічно, позитивний знак вказує на заряд, а негативний - на розряд. Вхід системи перетворення потужності проходить через блок Saturation, який слугує номінальною потужністю перетворювача, тобто максимальною потужністю заряду і розряду, з якою може впоратися BESS.

Одним з важливих атрибутів, який слід враховувати для будь-якої системи перетворення енергії, є її ефективність перетворення енергії. Як ефективність системи перетворення енергії впливає на потужність заряду і розряду акумулятора, розраховується і визначається за формулою (7), де P_{batt} – потужність, що надходить до акумулятора, $sign$ повертає знак +1 під час заряду і –1 під час розряду, θ – ефективність перетворення, яка може бути встановлена користувачем (як правило, знаходиться в діапазоні 80-95%), а P_{cd} – потужність заряду або розряду в кВт від контролера заряду-розряду. Наприклад, система перетворення потужності має коефіцієнт перетворення 90%, під час заряджання зі знаком плюс 100 кВт споживається з мережі для заряджання акумулятора, проте в акумулятор надходить лише 90 кВт потужності, аналогічно під час розряджання зі знаком мінус 110 кВт розряджається з акумулятора, проте лише 100 кВт віддається на навантаження.

$$P_{batt} = \left| sign + \left(1 - \frac{\theta}{100} \right) \right| \cdot P_{cd}. \quad (7)$$

Модель системи перетворення енергії з врахуванням номінальної потужності перетворювача та коефіцієнтом перетворення має вигляд:

						14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			37

Вихідна потужність системи перетворення електроенергії проходить через систему управління вмиканням і вимиканням перетворювача, що реалізована через блок множення за допомогою зворотного зв'язку з акумулятором. Далі вихід з блоку під'єднується до точки загальної пари між навантаженням і мережею через блок додавання.

Також враховується допоміжний блок живлення системи (рис. 3.9), що представляє енергію, необхідну для роботи всієї BESS. Сюди входять охолодження, моніторинг, зв'язок, захист, розподільчі пристрої, освітлення тощо. Зазвичай вона знаходиться в діапазоні 5-20% від номінальної потужності системи перетворення енергії BESS.

Вихід блоку точки загальної пари (рис. ... - Point of Common Couple for Load, BESS and Grid) включає в себе навантаження, допоміжну потужність системи та потужність заряду-розряду, взяту з мережі.

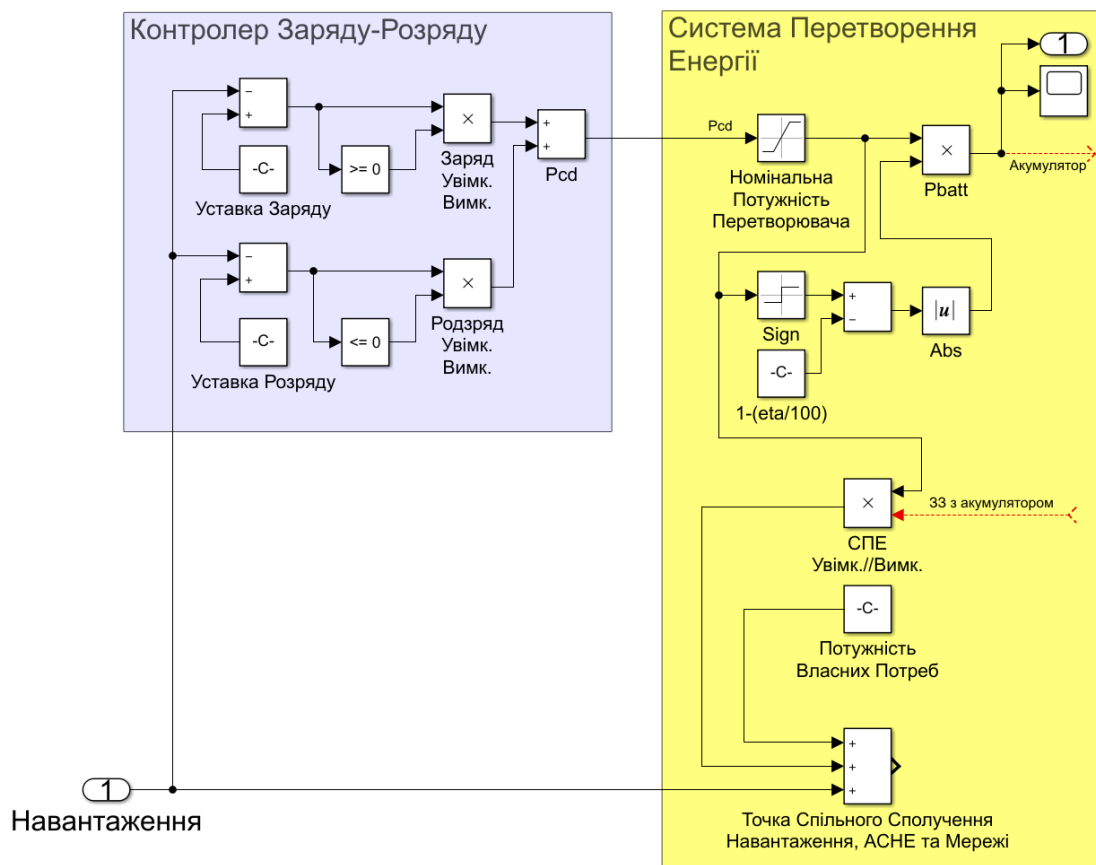


Рисунок 3.9 – Загальний вигляд моделі перетворювача та його зв'язок з контролером

3.2.3 Розробка моделі акумулятора з контролером величини заряду

Блок моделі акумулятора приймає на вхід ціле число в кВт, яке щогодини береться з системи перетворення енергії. Позитивний знак вказує на заряд, а негативний - на розряд. Блок Initial Condition (рис. 19 – Початковий Заряд Батареї) дозволяє користувачеві встановити початковий стан заряду батареї у відсотках. Це звичайна практика перед введенням BESS в експлуатацію. Попередньо, батарею заряджають до певного рівня заряду, зазвичай до 30%.

Блок пам'яті Memory (рис. 3.10 – Поточний Стан Заряду) дозволяє застосувати затримку на один крок інтегрування. На виході - попереднє вхідне значення. В моделі він зберігає поточний стан накопиченої енергії. Разом з блоком додавання вони утворюють акумулятор енергії батареї (рис. 19 – Акумулятор Енергії).

Блок насичення представляє ємність акумулятора і гарантує, що акумулятор не розрядиться нижче 0% і не продовжить заряджатися понад 100%. Блок Gain (рис. 3.10 – Перетворювач Енергії) перетворює одиницю енергії акумулятора в кВт-год у стан заряду у відсотках.

Вихідні дані про стан заряду батареї подаються в робочу область для моніторингу та використання, побудови графіків аналізу продуктивності та зворотного зв'язку з системою перетворення енергії.

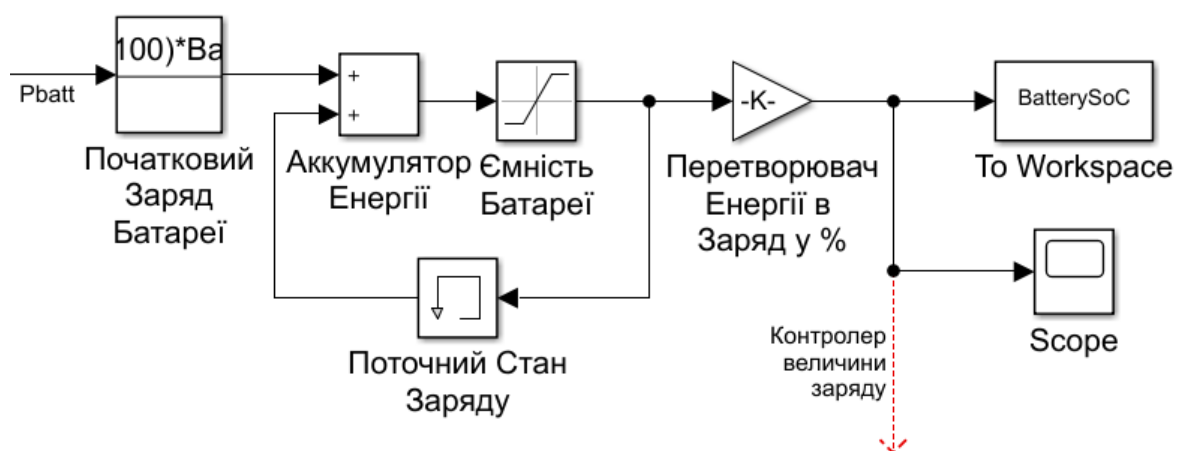


Рисунок 3.10 – Модель акумулятора з записом даних у пам'ять

Зворотній зв'язок з системою перетворення енергії визначено у формулі (8). Якщо стан заряду менше 0% або більше 100%, то PCSen дорівнює логічному нулю, щоб вимкнути вихід системи перетворення енергії через блок множення (рис. 20 – СПЕ Увімк./Вимк.).

$$PCSen = \overline{SoC \leq 0 \cup SoC \geq 100}. \quad (8)$$

Це необхідно для того, щоб гарантувати, що перетворювач заряду не продовжить заряджати батарею, коли батарея досягне 100% заряду, і не продовжить розряджати, коли батарея досягла 0% заряду.

Загальний вигляд моделі:

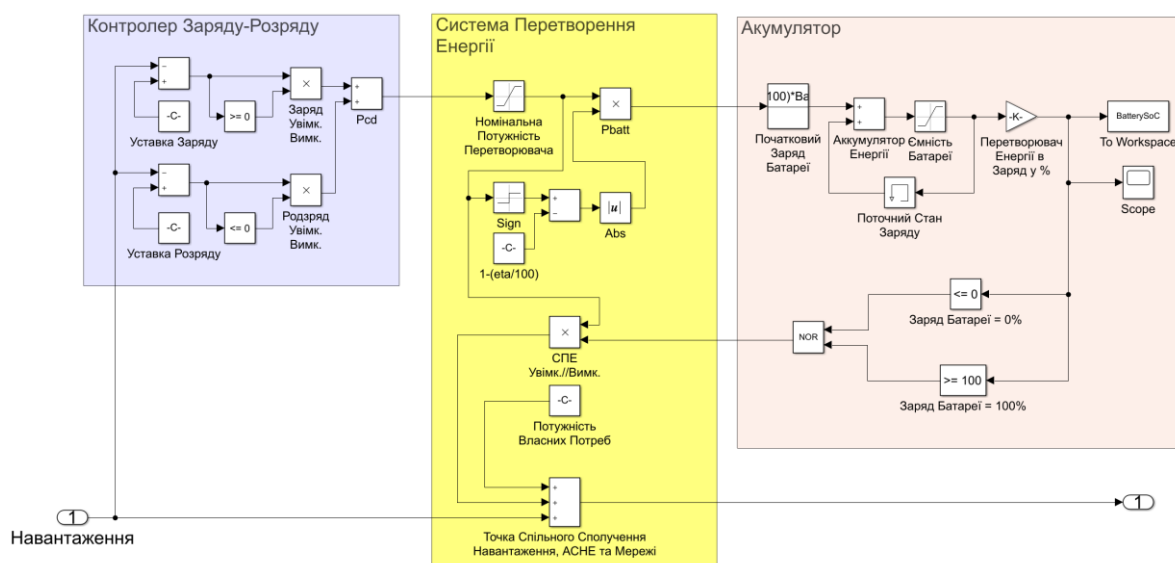


Рисунок 3.11 – Загальний вигляд моделі перетворювача та його зв'язок з контролером

3.3 Розробка меню налаштування параметрів

Меню налаштування параметрів було розроблено для того, щоб полегшити користувачеві конфігурацію моделі BESS для моделювання та аналізу продуктивності. Меню налаштування параметрів блоку BESS показано на рис. 3.12:

Block Parameters: Акумуляторна Система Накопичення Енергії

Акумуляторна Система Накопичення Енергії (ACHE) (mask)

ACHE зазвичай використовуються для вирівнювання навантаження, згладжування пікових навантажень, перерозподілу навантаження тощо.

Цей блок АСНЕ приймає погодинний профіль навантаження (кВт) з робочої області та обчислює показники використання мережі та акумулятора, які виводяться в робочу область.

Parameters

Номінальна Потужність АСНЕ (кВт) 250

Ефективність Перетворювача Енергії (%) 90

Номінальна Ємність Батареї (кА*год) 2000

Початковий Стан Заряду Батареї (%) 10

Потужність Власних Потреб (%) 5

Уставка Контролера Заряду

Заряджати Батарею, коли навантаження споживання нижче (кВт) 400

Розряджати Батарею, коли навантаження споживання вище (кВт) 400

OK Cancel Help Apply

Рисунок 3.12 – Меню налаштування параметрів блоку АСНЕ

де

- Номінальна Потужність АСНЕ (кВт) - це максимальна потужність заряду і розряду в кВт, яку може забезпечити система перетворення енергії АСНЕ.
- Початковий Стан Заряду Батареї (%) - це початковий заряд, що залишиться в батареї перед початком моделювання. Загальноприйнятою практикою є попередній заряд батареї до певного рівня заряду перед введенням в експлуатацію BESS.
- Номінальна ємність батареї (кА·год) – кількість енергії, що може накопичити акумулятор.
- Ефективність Перетворювача Енергії (%) – дозволяє користувачеві встановити ефективність перетворювача у відсотках. Цю інформацію можна отримати з технічної специфікації BESS.
- Потужність Власних Потреб (%) – Допоміжна потужність системи у відсотках від номінальної потужності BESS. Це потужність, яка необхідна для запуску та експлуатації BESS, включаючи

охолодження, моніторинг, зв'язок, захист, розподільчі пристрої, освітлення тощо.

У розділі налаштувань контролера заряду-розряду (Charge Controller Setting) є два параметри. Перший відповідає за заряджання батареї від електромережі, коли споживання навантаження нижче встановленого значення в кВт. Другий означає розряд батареї для живлення навантаження, коли споживання навантаження перевищує встановлене значення в кВт.

Висновки

В даному розділі була створена модель акумуляторної системи накопичення енергії. Модель включає в себе три підсистеми – контролер заряду-розряду, система перетворення енергії та накопичувач.

Контролер заряду-розряду відповідає за моніторинг та керування процесами зарядки та розрядки акумулятора. Модель контролера заряду-розряду враховує вхідну потужність, яку має перетворити перетворювач.

Система перетворення енергії виконує функцію перетворення електричної енергії між джерелами енергії та акумулятором. Ця підсистема включає в себе проміжні пристрої, такі як інвертори, зарядні пристрої, перетворювачі постійного/змінного струму та інші. Модель системи перетворення енергії враховує їхню ефективність та потужність.

Модель накопичувача враховує його ємність, ефективність зарядки та розрядки та втрати енергії.

Також, для зручності користування було розроблено модель меню налаштування параметрів.

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

4 ОЦІНКА ДОБОВИХ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ НЕРІВНОМІРНОСТІ ТА ОДНО-, ДВО- ТА ТРИЗОННИМИ ТАРИФАМИ

Використаний графік добового навантаження **комерційного офісу** (рис. 3.2) має такі характеристики:

Таблиця 4.1 - Дані добового графіка навантаження комерційного офісу

t, год	0	1	2	3	4	5	6	7	8
P, кВт·год	250	227	206	220	197	203	210	191	353
t, год	9	10	11	12	13	14	15	16	17
P, кВт·год	464	518	544	588	565	562	606	576	494
t, год	18	19	20	21	22	23			
P, кВт·год	409	322	301	288	268	228			

Кількість електричної енергії, переданої електричною мережею до споживачів за добу (кВт · год):

$$\begin{aligned}
 A_{\text{доб}} &= \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i = \\
 &= (250 + 227 + 206 + 220 + 197 + 203 + 210 + 191 + 353 \\
 &+ 464 + 518 + 544 + 588 + 565 + 562 + 606 + 576 + 494 \\
 &+ 409 + 322 + 301 + 288 + 268 + 228) \cdot 1 = 8790 \text{ [кВт} \cdot \text{год]}
 \end{aligned}$$

Коефіцієнт нерівномірності навантаження (в.о.):

$$K_H = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{191}{606} = 0,315$$

Коефіцієнт нерівномірності впливає на режим роботи генераторів, зокрема на перехід від базового навантаження до пікового режиму та на зміну потужності генераторів відповідно до вимог графіка навантаження.

141.EK9104.004.ДБ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
		Розробив	Грушевий Р. А.	13.06.2023
		Перевірив	Нестерко А. Б.	13.06.2023
		Реценз.		
		Н. Контр.	Настенко Д.В.	13.06.2023
		Затвердив	Марченко А.А.	13.06.2023
Відомість дипломного проекту				
		Літ.	Арк.	Аркушів
			44	67
КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФЕА гр. ЕК-91				

$$\text{Ц}_2 = 5125 [\text{кВт} \cdot \text{год}] \cdot 5,82166 \left[\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right] \cdot 1 = 29836,01 [\text{грн}]$$

3 зона (День: 8:00-11:00/20:00-22:00). Тарифний коефіцієнт становить **1,5**:

$$A_{3з} = 353 + 464 + 518 + 301 + 288 = 1924 [\text{кВт} \cdot \text{год}]$$

$$\text{Ц}_3 = 1924 [\text{кВт} \cdot \text{год}] \cdot 5,82166 \left[\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right] \cdot 1,5 = 16801,31 [\text{грн}]$$

Загальна сума витрат на електроенергію за добу становить:

$$\text{Ц}_{\text{тт}} = \text{Ц}_1 + \text{Ц}_2 + \text{Ц}_3 = 4054,2 + 29836,01 + 16801,31 = 46104,64 [\text{грн}]$$

Використаний графік добового навантаження **багатоповерхового будинку** (рис. 3.3) має такі характеристики:

Таблиця 4.2 - Дані добового графіка навантаження підприємства

t, год	0	1	2	3	4	5	6	7	8
P, кВт·год	250	227	206	220	197	203	251	346	464
t, год	9	10	11	12	13	14	15	16	17
P, кВт·год	438	380	363	388	365	362	356	376	565
t, год	18	19	20	21	22	23			
P, кВт·год	562	591	546	471	328	248			

Кількість електричної енергії, переданої електричною мережею до споживачів за добу (кВт · год):

$$\begin{aligned}
 A_{\text{доб}} &= \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i = \\
 &= (250 + 227 + 206 + 197 + 203 + 251 + 346 + 464 + 438 \\
 &\quad + 380 + 363 + 388 + 365 + 362 + 356 + 376 + 565 + 562 \\
 &\quad + 591 + 546 + 471 + 328 + 248) \cdot 1 = 8703 [\text{кВт} \cdot \text{год}]
 \end{aligned}$$

Коефіцієнт нерівномірності навантаження (в.о.):

$$K_n = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{197}{591} = 0,33.$$

Ціна тарифу на електроенергію для споживачів становить 2,64 грн/кВт · год.

Ціна відповідно за *однозонним* тарифом:

$$C_{от} = A_{доб} \cdot 2,64 \left[\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right] = 8703 \cdot 2,64 \left[\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right] = 22975,92 \text{ [грн]}.$$

За наявним *двозонним* тарифом:

1 зона (Ніч: 23:00 – 7:00). Тарифний коефіцієнт становить **0,5**:

$$A_{з1} = 248 + 250 + 227 + 206 + 197 + 203 + 251 = 1802 \text{ [кВт} \cdot \text{год]}$$

$$C_1 = 1802 \text{ [кВт} \cdot \text{год]} \cdot 2,64 \left[\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right] \cdot 0,5 = 2378,64 \text{ [грн]}$$

2 зона (День: 7:00 – 23:00). Тарифний коефіцієнт становить **1**:

$$A_{з2} = 346 + 464 + 438 + 380 + 363 + 388 + 365 + 362 + 356 + 376 \\ + 565 + 562 + 591 + 546 + 471 + 328 = 6901 \text{ [кВт} \cdot \text{год]}$$

$$C_2 = 6901 \text{ [кВт} \cdot \text{год]} \cdot 2,64 \left[\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right] \cdot 1 = 18218,64 \text{ [грн]}$$

Загальна сума витрат на електроенергію за добу становить:

$$C_{дт} = C_1 + C_2 = 2378,64 + 18218,64 = 20597,28 \text{ [грн]}$$

За наявним *тризонним* тарифом:

1 зона (Ніч: 23:00 – 7:00). Тарифний коефіцієнт становить **0,4**:

$$A_{з1} = 248 + 250 + 227 + 206 + 197 + 203 + 251 = 1902,91 \text{ [кВт} \cdot \text{год]}$$

$$C_1 = 1902,91 \text{ [кВт} \cdot \text{год]} \cdot 2,64 \left[\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right] \cdot 0,4 = 1902,91 \text{ [грн]}$$

2 зона (Напівпік: 7:00-8:00/11:00-20:00/22:00-23:00). Тарифний коефіцієнт становить **1**:

$$A_{з2} = 346 + 363 + 388 + 365 + 362 + 356 + 376 + 565 + 562 + 591 \\ + 328 = 4602 \text{ [кВт} \cdot \text{год]}$$

$$C_2 = 4602 \text{ [кВт} \cdot \text{год]} \cdot 2,64 \left[\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right] \cdot 1 = 12149,28 \text{ [грн]}$$

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

коли споживання навантаження досягає встановленої потужності 500 кВт о 10 години, і підтримує потужність на рівні 500 кВт до 17 години. Батарея досягає глибини розряду 5,8%, потім АСНЕ починає знову заряджати батарею, починаючи з 21 години, і батарея досягає 17,5% о 23 години, що більше, ніж 10% початкового заряду на початку моделювання. Це вказує на те, що накопиченої енергії достатньо для наступного дня, і цикл буде продовжуватися щодня.

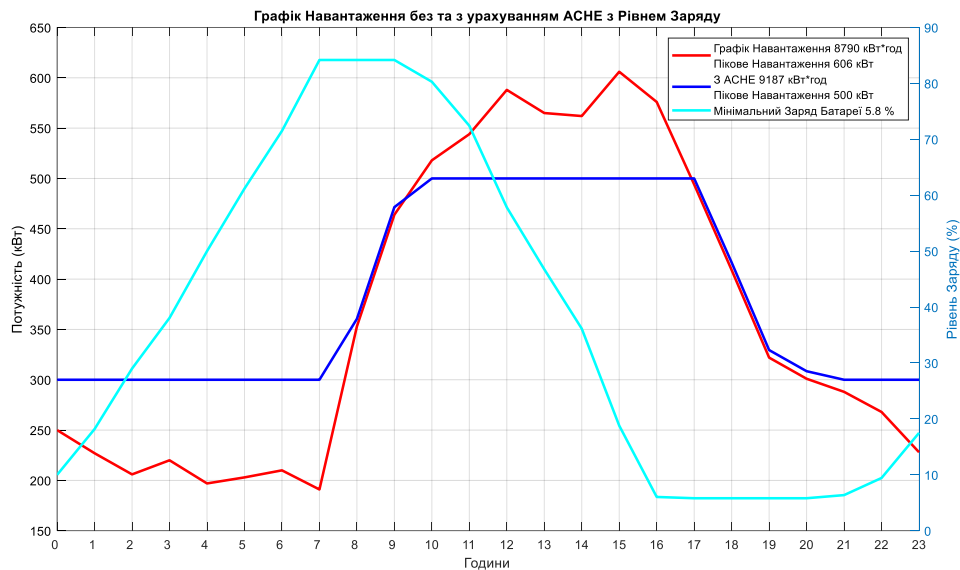


Рисунок 4.1 – Робота АСНЕ з профілем комерційного офісу в режимі обмеження пікової потужності

Таблиця 4.3 – Порівняння звичайного графіка навантаження з графіком АСНЕ в режимі обмеження потужності

	Без АСНЕ	З АСНЕ
$A_{\text{доб}}, [\text{кВт} \cdot \text{год}]$	8790,00	9186,50
$K_{\text{н}}, [\text{в. о.}]$	0,32	0,60
$\text{Ц}_{\text{от}}, [\text{грн}]$	51172,39	53480,68
$\text{Ц}_{\text{дт}}, [\text{грн}]$	46104,64	46494,69
$\text{Ц}_{\text{тт}}, [\text{грн}]$	50691,52	50745,95

Сумарні втрати навантаження з системою накопичення енергії склали 9286,5 кВт·год, що на 4,51% більше, ніж в звичайному режимі. В той же час, коефіцієнт нерівномірності склав $K_{\text{н}} = 0,6$.

Ціна за спожиту електроенергію з АСНЕ за різними тарифами виявилась вищою, ніж для звичайного споживання:

- для однозонного: вища на 4,51%
- для двозонного: вища на 0,85%
- для трizonного: вища на 0,11%

Підсумовуючи, цей приклад демонструє, що АСНЕ здатна знизити пікову потужність з 606 кВт до 500 кВт за допомогою лише додаткових 397 кВт-год енергії на додаток до профілю навантаження 8790 кВт-год.

Інший дослід проведено з використанням графіку багатоквартирного будинку (рис. 12). Номінальна потужність АСНЕ встановлена на рівні 150 кВт, ємність батареї - 700 кА·год з початковим рівнем заряду 10%, ефективність перетворювача заряду - 90%, допоміжна потужність системи - 5%, потужність заряду - 300 кВт, а потужність розряду - 450 кВт, що відповідає запланованому обмеженню рівня потужності.

Можна чітко бачити на рис. 4.2, що в непікові години з 0 до 6 години споживання навантаження є нижчим за 300 кВт. Тому контролер заряду був налаштований на заряджання акумулятора в цей період часу. Протягом періоду заряду контролер також стежить за тим, щоб потужність заряджання не перевищувала встановлених 500 кВт. Це дозволяє зарядити батарею ємністю 700 кА·год до 95% заряду. АСНЕ починає розряджати батарею, коли споживання навантаження досягає встановленої потужності 450 кВт з 7 до 8 годин та в період другого піку з 16 до 21 годин, підтримуючи потужність на рівні 450 кВт. Батарея досягає глибини розряду 11.3%, потім АСНЕ починає знову заряджати батарею, починаючи з 22 години, і батарея досягає 16,1% о 23 годині, що менше за початковий. Це також вказує на те, що накопиченої енергії не буде достатньо для наступного дня, тому необхідно змінити ємність батареї або її уставки заряду-розряду.

									14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						50

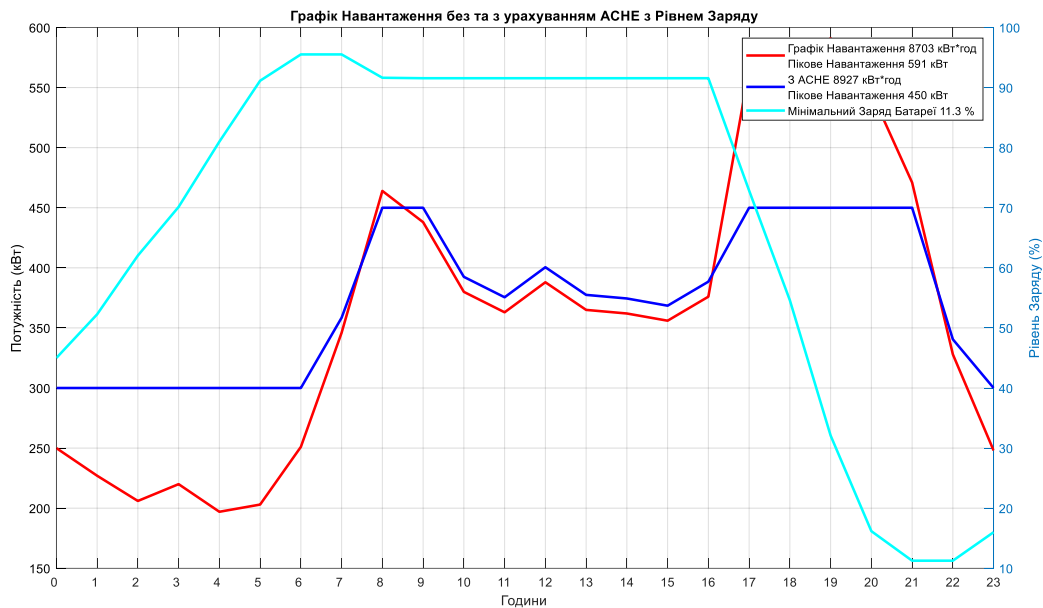


Рисунок 4.2 – Робота АСНЕ з профілем будинку в режимі обмеження пікової потужності

Таблиця 4.4 – Порівняння звичайного графіка навантаження з графіком АСНЕ в режимі обмеження потужності

	Без АСНЕ	З АСНЕ
$A_{\text{Доб}}, [\text{кВт} \cdot \text{год}]$	8703	9045,50
$K_{\text{н}}, [\text{в. о.}]$	0,33	0,57
$\text{Ц}_{\text{от}}, [\text{грн}]$	22975,92	23880,12
$\text{Ц}_{\text{дт}}, [\text{грн}]$	20597,28	20489,7
$\text{Ц}_{\text{тт}}, [\text{грн}]$	23156,23	22693,18

Сумарні втрати навантаження з системою накопичення енергії склали 9045,5 кВт·год, що на 342,5 кВт·год більше, ніж в звичайному режимі. В той же час, коефіцієнт нерівномірності склав $K_{\text{н}} = 0,57$.

Ціна за спожиту електроенергію з АСНЕ за різними тарифами виявилась вищою, ніж для звичайного споживання:

- для однозонного: вища на 4,51%
- для двозонного: нижча на 0,52%
- для тризонного: нижча на 2%

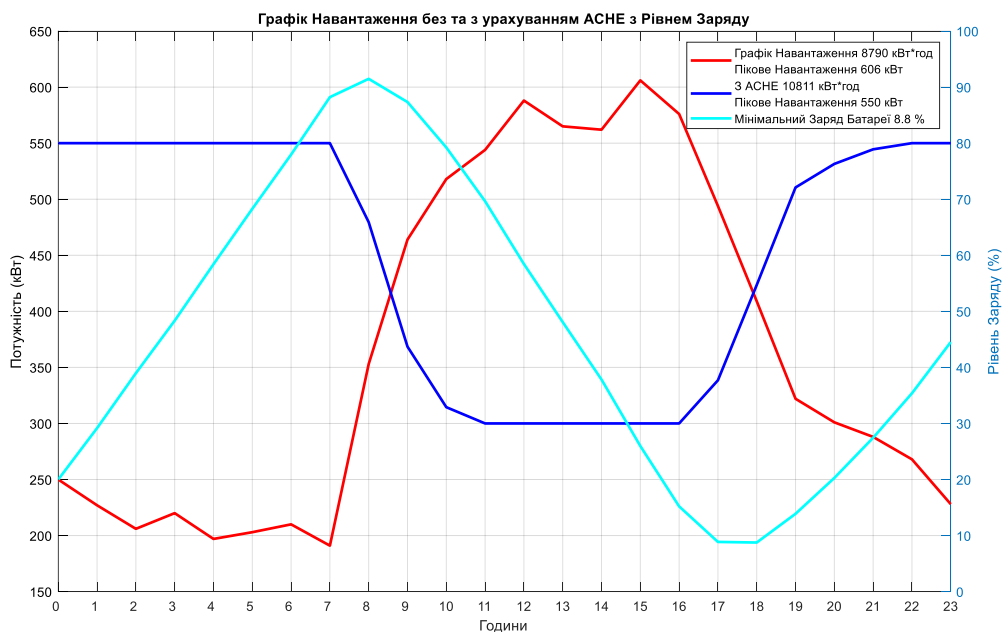


Рисунок 4.3 – Робота АСНЕ з профілем офісу в режимі перерозподілу навантаження

Таблиця 4.5 – Порівняння звичайного графіка навантаження офісу з графіком АСНЕ в режимі перерозподілу навантаження

	Без АСНЕ	3 АСНЕ
$A_{\text{Доб}}$, [кВт · год]	8790	10811,00
K_n , [в. о.]	0,33	0,55
$C_{\text{от}}$, [грн]	50665,91	62937,97
$C_{\text{дт}}$, [грн]	45420,59	50130,31
$C_{\text{тт}}$, [грн]	51063,53	54084,68

Сумарні втрати навантаження з системою накопичення енергії склали 10811 кВт·год, що на 2021 кВт·год більше, ніж в звичайному режимі. Коефіцієнт нерівномірності склав $K_n = 0,55$.

Ціна за спожиту електроенергію з АСНЕ за різними тарифами виявилась вищою, ніж для звичайного споживання:

- для однозонного: вища на 22,99%
- для двозонного: вища на 8,73%
- для тризонного: вища на 6,69%

Таким чином, цей приклад демонструє, що BESS здатна переносити навантаження з години пік на годину непікового навантаження з 44,5% заряду в батареї в кінці дня о 23 годині. Це свідчить про те, що накопиченої енергії достатньо для наступного дня, і цикл може підтримуватися щодня.

На рис. 4.4 використано графік навантаження багатоквартирного будинку. Номінальна потужність АСНЕ встановлена на рівні 300 кВт, ємність батареї - 1300 кА·год з початковим рівнем заряду 20%, ефективність системи перетворення енергії - 90%, допоміжна потужність системи - 5%, потужність заряду - 430 кВт, а потужність розряду - 360 кВт. З графіку видно, що в непікові години з 0 до 7 години та з 21 до 23 години відбувається цикл заряджання АСНЕ. О 6 годині заряд сягає максимального значення і о 7 АСНЕ починає розряджатися до рівня розрядного навантаження 360 кВт. В період напівпікових навантажень АСНЕ накопичує частину заряду, і в часи другого піку з 16 по 21 години віддає накопичену енергію до рівня заряду 6%, після чого знову починає заряджати батарею до кінця дня. Таким чином, BESS ефективно зміщує навантаження з години пікового навантаження на годину непікового навантаження, додатково споживаючи 719 кВт·год енергії на додаток до профілю навантаження 8703 кВт·год.

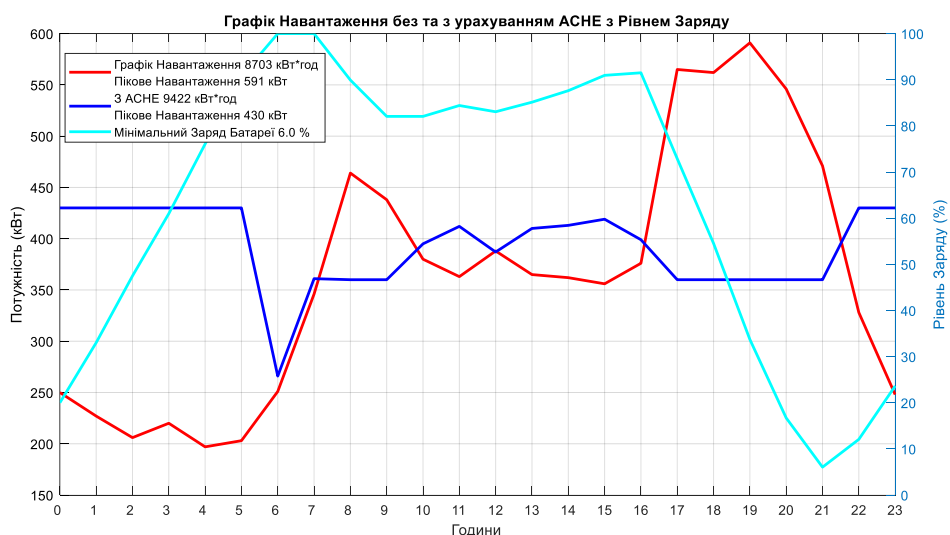


Рисунок 4.4 – Робота АСНЕ з профілем будинку в режимі перерозподілу навантаження

Таблиця 4.6 – Порівняння звичайного графіка навантаження будинку з графіком АСНЕ в режимі перерозподілу навантаження

	Без АСНЕ	З АСНЕ
$A_{\text{доб}}, [\text{кВт} \cdot \text{год}]$	8703	9422
$K_{\text{н}}, [\text{в. о.}]$	0,33	0,62
$\text{Ц}_{\text{от}}, [\text{грн}]$	22975,92	24874,08
$\text{Ц}_{\text{дт}}, [\text{грн}]$	20597,28	20549,76
$\text{Ц}_{\text{тт}}, [\text{грн}]$	23156,23	22107,1

Сумарні втрати навантаження з системою накопичення енергії склали 9422 кВт·год, що на 719 кВт·год більше, ніж в звичайному режимі. Коефіцієнт нерівномірності склав $K_{\text{н}} = 0,62$.

Ціна за спожиту електроенергію з АСНЕ за різними тарифами виявилась вищою, ніж для звичайного споживання:

- для однозонного: вища на 8,26%
- для двозонного: нижча на 0,23%
- для тризонного: нижча на 4,53%

4.3 Оцінка АСНЕ в режимі обмеження максимальної споживаної потужності

Зі стрімким зростанням відновлюваної енергетики розподілена генерація підключається до електромережі. Переривчастий характер сонячної та вітрової енергії може спричинити значні коливання в електромережі. Однією з важливих особливостей "розумної" мережі є здатність узгоджувати попит і пропозицію завдяки підтримці BESS. Вирівнювання навантаження є поширеною технікою, яка використовується для досягнення єдиного коефіцієнта навантаження, тобто вирівнювання навантаження та пропозиції протягом дня. Цей приклад демонструє, як запропонована модель BESS може бути використана для вирівнювання навантаження.

4.3.1 Оцінка АСНЕ з навантаженням комерційного офісу в режимі обмеження максимальної споживаної потужності

Номінальна потужність BESS встановлена на рівні 250 кВт, ємність батареї встановлена на рівні 2000 кА·год з початковим рівнем заряду 30%, ефективність системи перетворення енергії встановлена на рівні 90%, допоміжна потужність системи для запуску BESS становить 5%, а рівень навантаження встановлений на рівні 400 кВт, що становить дві третини від максимального попиту за профілем навантаження. Продуктивність моделі BESS показана на рис. 4.5. Можна чітко бачити, що BESS здатна підтримувати встановлений рівень навантаження на рівні 400 кВт протягом дня, досягаючи одиничного коефіцієнту навантаження, заряджаючи батарею з 0 до 8 години до 88,2%, і розряджаючи батарею з 9 до 17 години до 8,4%, а потім знову заряджаючи батарею і з 18 години до кінця дня до 32,3%. Це свідчить про те, що накопиченої енергії вистачить на наступний день, і цикл можна буде підтримувати щодня.

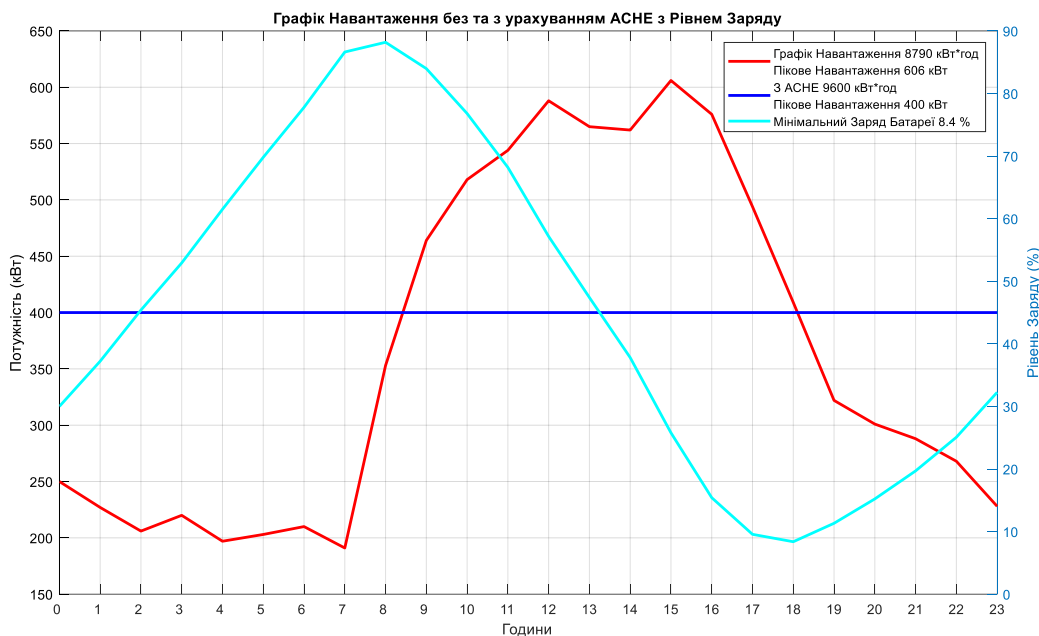


Рисунок 4.5 – Робота АСНЕ з навантаженням комерційного офісу в режимі обмеження максимальної потужності

Таблиця 4.7 – Порівняння звичайного графіка навантаження комерційного офісу з графіком АСНЕ в режимі обмеження потужності

	Без АСНЕ	з АСНЕ
$A_{\text{доб}}, [\text{кВт} \cdot \text{год}]$	8790,00	9600,00
$K_{\text{н}}, [\text{в. о.}]$	0,32	1
$\text{Ц}_{\text{от}}, [\text{грн}]$	51172,39	55887,94
$\text{Ц}_{\text{дт}}, [\text{грн}]$	46104,64	46573,28
$\text{Ц}_{\text{тт}}, [\text{грн}]$	50691,52	50532,01

Сумарні втрати навантаження з системою накопичення енергії склали 9600 кВт · год, що на 9,22% більше, ніж в звичайному режимі. Коефіцієнт нерівномірності склав $K_{\text{н}} = 1$.

Ціна за спожиту електроенергію з АСНЕ за різними тарифами:

- для однозонного: вища на 9,22%
- для двозонного: вища на 1,02%
- для тризонного: нижча на 0,31%

Як бачимо, АСНЕ забезпечує необхідну норму максимальної споживаної потужності в межах 400кВт за допомогою додаткових 810 кВт·год на додаток до профілю навантаження 8790 кВт·год.

4.3.2 Оцінка АСНЕ з навантаженням в режимі обмеження максимальної споживаної потужності

Номинальна потужність BESS встановлена на рівні 250 кВт, ємність батареї встановлена на рівні 1300 кА·год з початковим рівнем заряду 20%, ефективність системи перетворення енергії встановлена на рівні 90%, допоміжна потужність системи для запуску BESS становить 5%, а рівень навантаження встановлений на рівні 390 кВт. Продуктивність моделі BESS показана на рис. 4.6.

BESS здатна підтримувати встановлений рівень навантаження на рівні 390 кВт протягом дня, досягаючи одиничного коефіцієнту нерівномірності.

Розряд батареї відбувається з 0 до 8 години. Глибина розряду при цьому сягає 2,8%. В період меншого навантаження з 8 по 17 годину відбувається

системи накопичення. В період другого піку з 17 по 19 години система знову починає віддавати накопичену енергію, виконуючи уставку по потужності. Після покриття пікового навантаження батарея продовжує своє заряджання до 74,1% до кінця дня. Це також свідчить про те, що накопиченої енергії вистачить на наступний день, і цикл можна буде підтримувати щодня.

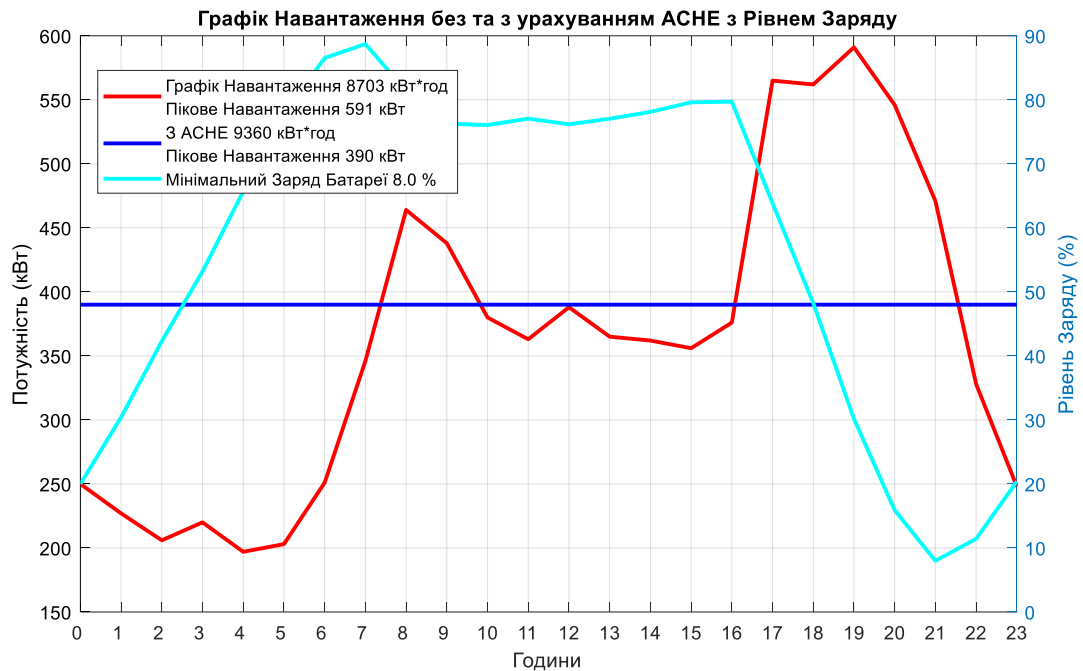


Рисунок 4.6 – Робота АСНЕ з навантаженням підприємства в режимі обмеження максимальної потужності

Таблиця 4.8 – Порівняння звичайного графіка навантаження будинку з графіком АСНЕ в режимі обмеження потужності

	Без АСНЕ	З АСНЕ
$A_{\text{доб}}, [\text{кВт} \cdot \text{год}]$	8703,00	9360,00
$K_n, [\text{в. о.}]$	0,33	1
$C_{\text{от}}, [\text{грн}]$	22975,92	24710,40
$C_{\text{дт}}, [\text{грн}]$	20597,28	20592,00
$C_{\text{тт}}, [\text{грн}]$	23156,23	22342,32

Сумарні втрати навантаження з системою накопичення енергії склали 9360 кВт·год, що на 657 кВт·год більше, ніж в звичайному режимі. Коефіцієнт нерівномірності склав $K_n = 1$.

Ціна за спожиту електроенергію з АСНЕ за різними тарифами:

- для однозонного: вища на 2,77%
- для двозонного: нижча на 0,03%
- для тризонного: вища на 3,51%

4.3.3 Оцінка АСНЕ при паралельній роботі з СЕС

Графік споживання будинку та генерації ВЕС зображено на рис. 4.7:

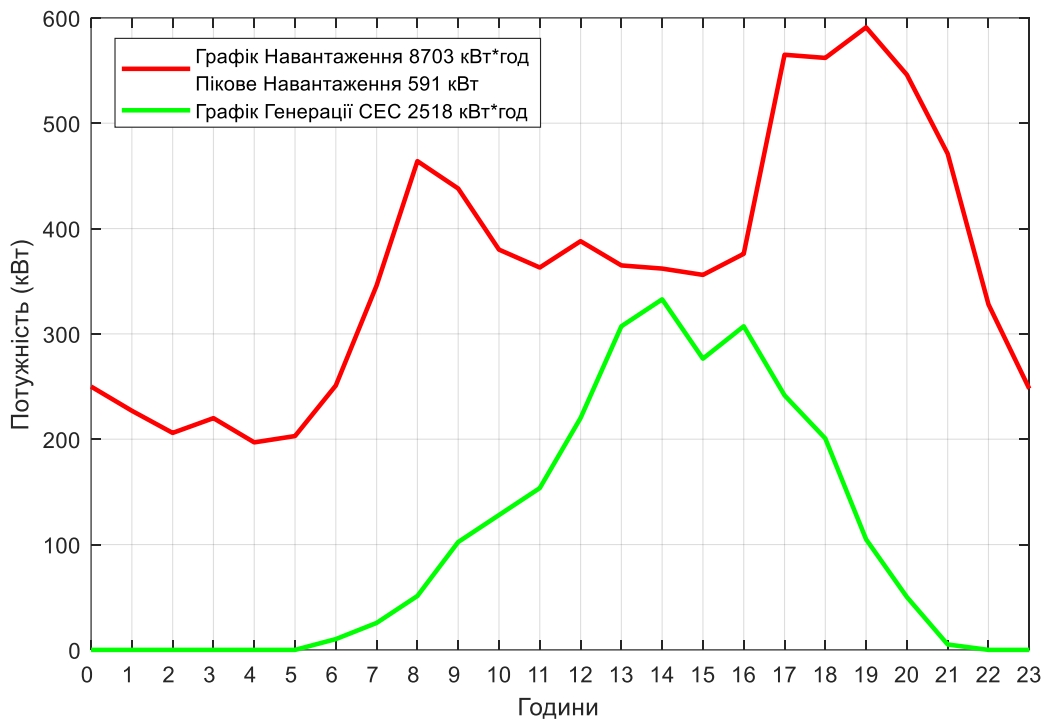


Рисунок 4.7 – Профіль навантаження будинку та генерації СЕС

Номинальна потужність АСНЕ встановлена на рівні 300 кВт, ємність батареї встановлена на рівні 1500 кА·год з початковим рівнем заряду 30%, ефективність системи перетворення енергії встановлена на рівні 90%, допоміжна потужність системи для запуску BESS становить 5%, а рівень навантаження встановлений на рівні 285 кВт. Продуктивність моделі BESS показана на рис. 4.8.

Розряд батареї відбувається з 0 до 9 години. Глибина розряду при цьому сягає 7,7%. В період меншого навантаження з 8 по 18 годину відбувається накопичення енергії. В період другого піку з 18 по 23 години система знову

починає віддавати накопичену енергію, виконуючи уставку по потужності. Після покриття пікового навантаження заряд АСНЕ склав 31,81% і це також свідчить про те, що накопиченої енергії вистачить на наступний день, і цикл можна буде підтримувати щодня.

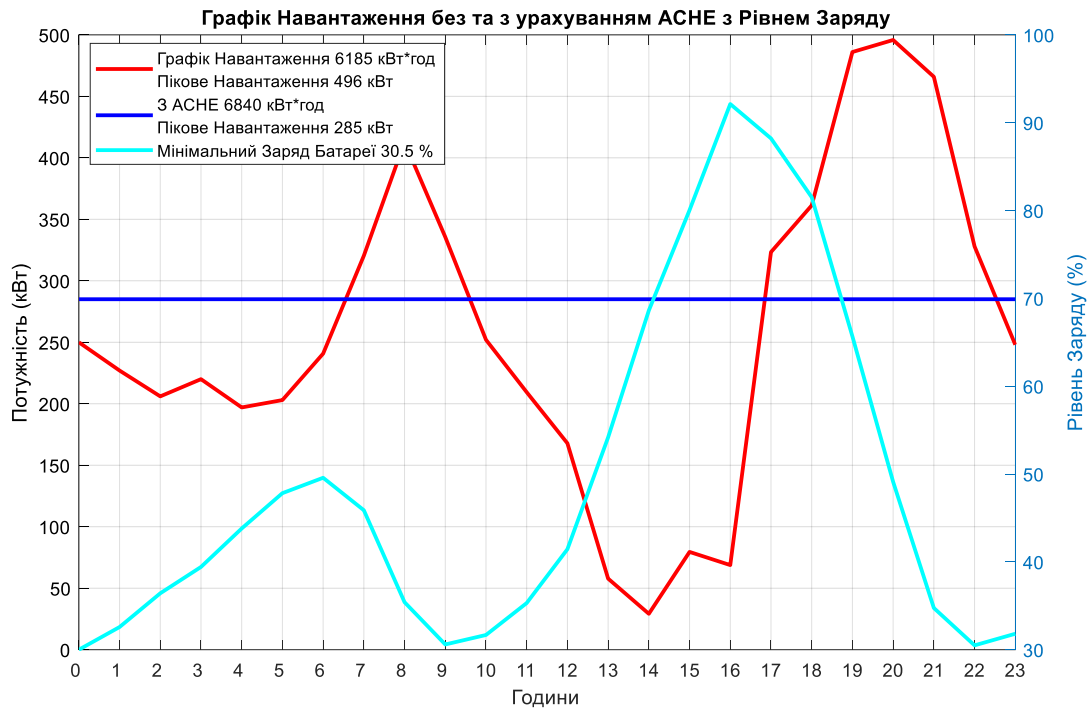


Рисунок 4.8 – Графік паралельної роботи АСНЕ з СЕС

Таблиця 4.9 – Порівняння звичайного графіка навантаження підприємства з графіком АСНЕ в режимі обмеження потужності

	Без АСНЕ	З АСНЕ
$A_{\text{доб}}$, [кВт · год]	6185,50	6840,00
K_n , [в. о.]	0,06	1,00
$C_{\text{от}}$, [грн]	16329,71	18057,60
$C_{\text{дт}}$, [грн]	13964,59	15048,00
$C_{\text{тт}}$, [грн]	16081,54	16327,08

Сумарні втрати навантаження з системою накопичення енергії склали 6960 кВт·год, що на 774,5 кВт·год більше, ніж в звичайному режимі. Коефіцієнт нерівномірності склав $K_n = 1$.

Ціна за спожиту електроенергію з АСНЕ за різними тарифами:

- для однозонного: вища на 10,58%
- для двозонного: вища на 7,76%
- для тризонного: вища на 1,53%

4.3.4 Оцінка АСНЕ при паралельній роботі з ВЕС

Графік споживання будинку та генерації ВЕС зображено на рис. 4.9:

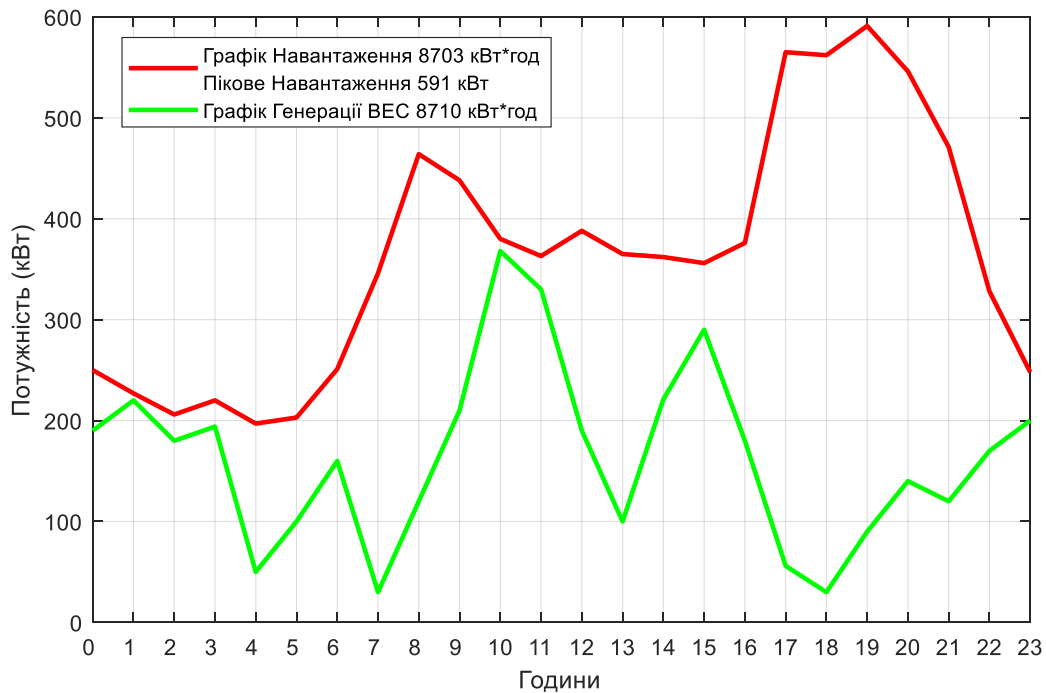


Рисунок 4.9 – Графік навантаження будинку та генерації ВЕС

Номінальна потужність BESS встановлена на рівні 300 кВт, ємність батареї встановлена на рівні 1800 кА·год з початковим рівнем заряду 20%, ефективність системи перетворення енергії встановлена на рівні 90%, допоміжна потужність системи для запуску BESS становить 5%, а рівень навантаження встановлений на рівні 240 кВт. Продуктивність моделі BESS показана на рис. 4.10.

Розряд і заряд батареї відбуваються періодично, через нерівномірність навантаження і генерації. Глибина розряду при цьому сягає 2,8%.

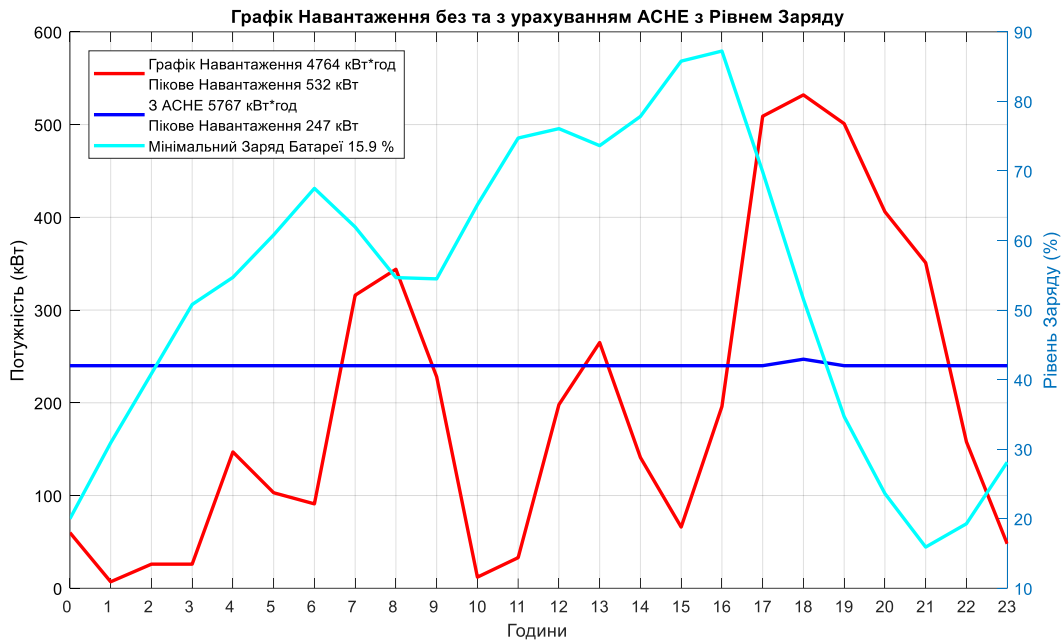


Рисунок 4.10 – Паралельна робота АСНЕ з вітровою електростанцією

Таблиця 4.10 – Порівняння звичайного графіка навантаження підприємства з графіком АСНЕ в режимі обмеження потужності

	Без АСНЕ	3 АСНЕ
$A_{\text{доб}}$, [кВт · год]	4764,00	5767,00
K_n , [в. о.]	0,01	0,97
$C_{\text{от}}$, [грн]	12576,96	15224,88
$C_{\text{дт}}$, [грн]	11906,40	12690,48
$C_{\text{тт}}$, [грн]	13542,41	13767,60

Сумарні втрати навантаження з системою накопичення енергії склали 5767 кВт·год, що на 1003 кВт·год більше, ніж в звичайному режимі.

Коефіцієнт нерівномірності склав $K_n = 0,97$.

Ціна за спожиту електроенергію з АСНЕ за різними тарифами:

- для однозонного: вища на 21,05%
- для двозонного: вища на 6,59%
- для тризонного: вища на 1,66%

Висновки

В даному розділі було розраховано обрані графіки навантаження комерційного офісу та багатоквартирного будинку. Для них було розраховано коефіцієнт нерівномірності і одно-, дво- та тризонний тариф.

Було проведено оцінку роботи АСНЕ в режимах обмеження пікової потужності, перерозподілу навантаження, обмеження споживаної потужності, а також в режимах паралельної роботи з сонячною та вітровою електростанціями.

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

результатами досліджень АСНЕ не економічна у випадках використання однозонного лічильника, а для використання інших зонних тарифів показала неоднозначний результат.

					14.1.ЕК9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Robert JK, Gregory FR, Adam RS. Economic analysis of grid level energy storage for the application of load leveling, Presented at: 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)

					14.1.EK9104.004.ДБ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		