

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Розробка системи накопичення електричної енергії (ESS) для фермерських підприємств»

КРБ.141ЕЕбд_41.05.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»*
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 141ЕЕбд_41
ЯРОШЕНКО Віталій

Керівник: канд. техн. наук, доцент
БАСОВА Юлія

Полтава – 2025 р

ЗМІСТ

Вступ	7
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	9
1.1 Накопичувачі електроенергії	9
1.2 Розумна мережа	14
1.3 Двосторонній зв'язок	16
1.4 Роль споживача	17
1.5 Функції Smart Grid	18
1.6 Розумні лічильники	19
Висновок до розділу 1	23
2 ПІДБІР ПОТУЖНОСТІ АКБ	24
2.1 Роль накопичувачів енергії (ESS) в інтелектуальних мережах	24
2.2 Розрахунок ефективності використання накопичувачів енергії та побудова графіка добового навантаження	24
Висновок до розділу 2	33
3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	34
Висновок до розділу 3	36
4 ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	37
4.1 Економічна ефективність	37
4.2 Загальні вимоги безпеки	38
Висновок до розділу 4	39
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	40
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	42

ВСТУП

На сьогоднішній день важливим для фермерських підприємств є стабільне забезпечення електричною енергією. У таких умовах особливо важливим є використання різних смарт-технологій (розумних мереж) у поєднанні зі створенням системи накопичення електричної енергії (ESS). На даний момент провідні країни світу вже впроваджують нову інтелектуальну систему електрозабезпечення, яка найближчим часом замінить традиційну систему електропостачання.

Розумна мережа – це абсолютно новий підхід до реалізації енергозабезпечення та розвитку енергетичної системи в цілому. Потреба в новій розумній мережі виникла після появи малих відновлюваних джерел енергії. Це призвело до того, що традиційна мережа електропостачання, яка має стару односпрямовану схему – від генерації електроенергії до кінцевого споживача, стала потребувати серйозної модернізації. Таким чином, нова розумна мережа може розподіляти електроенергію в обох напрямках. Також, крім переходу на двосторонній зв'язок, розумна мережа дозволяє оснащувати фермерські приміщення різної спрямованості розумними лічильниками, які можуть передавати точну інформацію в режимі реального часу про ряд параметрів, таких як: поточне споживання, обсяг загального споживання за певний період, максимальне споживання за період. Завдяки такій точній передачі даних, система може раціонально розподілити електроенергію по всьому будинку, фермі, офісу і виробничому підприємству, що дозволить скоротити витрати на електроенергію, зробивши її більш ефективною і надійною. Повну інформацію про електромережу може відстежити сам споживач, що робить його причетним до системи.

Мета роботи розроблення системи накопичення електричної енергії для безперебійної роботи фермерських підприємств з використанням сучасних технологій і систем розподілення.

Об'єкт розробки підприємство агропромислового комплексу з

господарським/офісним приміщенням та парником.

Предмет розробки – система автоматичного контролю, генерації, накопичення та використання електричної енергії.

Методика досліджень системний аналіз можливостей та засобів реалізації ефективного енергоспоживання сільськогосподарського підприємства за рахунок використання сонячної енергії, накопичення електричної енергії та використання у години найбільшого навантаження . Розрахунок основних показників для реалізації проекту, графічне відображення технологічних процесів, визначення параметрів електричних елементів, економічна оцінка та безпека технічного обслуговування електроустановок з напругою до 1000 В

Практичні результати роботи – результати розробленої проектної документації можуть бути рекомендовані для впровадження на підприємствах агропромислового комплексу.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

1.1 Накопичувачі електроенергії

Energy Storage System або (ESS) – це промислові системи, здатні накопичувати, зберігати і, при необхідності, віддавати енергію для цільового використання. Їх розрізняють за кількістю накопиченої енергії, швидкістю її накопичення і повернення, питомою інтенсивністю енергії, можливим терміном зберігання та іншими параметрами [1].

Основними видами ESS є електрохімічні акумулятори (ACB batteries), які характеризуються значеннями потужності близько 1 кВт/кг.

Свинцево-кислотні акумулятори. Максимальна енергоємність акумуляторів на основі свинцево-кислотних акумуляторів (СКА) оцінюється в районі 109 Дж, хоча акумулятори на енергію 1011 Дж мають перспективи на існування.

Свинцево-кислотні акумулятори (СКА) є найбільш вивченою та освоєною формою ESS, як для систем аварійного живлення, так і для багатьох інших застосувань. СКА можна зустріти на великих електростанціях і підстанціях (джерела аварійного електроживлення), в пасажирських вагонах (для пуску і електроживлення), активні матеріали акумуляторів містяться в електролітах і в позитивних і негативних електродах.

Електроліт – це розчин сірчаної кислоти в електроліті. Активною речовиною пластин є діоксид свинцю (PbO_2). Склад АКБ показаний на рис 1.1.

Гелеві акумулятори, або GEL (Gel Electrolyte), мають унікальну конструкцію, що відрізняється від звичайних свинцево-кислотних акумуляторів. Замість рідкого електроліту вони використовують гелеподібну речовину, яка не може витекти. Принцип роботи залишається тим самим: під час заряджання електроенергія перетворюється на хімічну, а під час розряджання навпаки [2].

Нікель-кадмієві та нікель-метал-гідридні акумулятори. Нікель-кадмієві акумулятори (Ni-Cd) — єдиний тип акумуляторів, який може зберігатися розрядженим — на відміну від нікель-метал-гідридних акумуляторів (Ni-MH), які потрібно зберігати повністю зарядженими, і літій-йонних акумуляторів (Li-ion),

які необхідно зберігати при 40%-ому заряді від ємності акумулятора.

Рисунок 1.1 – Будова АКБ

Сучасні промислові акумулятори від NCA можуть працювати протягом 20-25 років – це єдиний тип акумуляторів, який розряджається. Цей тип акумуляторів характеризується постійною роботою при низькій температурі (-20°C) і низькому нагріванні при зарядці і розряді великими струмами з використанням лужного електроліту.

Основний недолік такого типу батарей отримав назву «ефект пам'яті» – при перезарядці батареї в електродах з'являється електричний шар, такий як «блокування» залишкової ємності, робоча напруга якої знижується через появу додаткового дублювання.

Літій-іонні акумулятори. Останнім часом Li-ion став більш широко використовуватися, особливо в електромобілях, космічній та авіаційній техніці, прототипах джерел живлення [3, 4]. Li-ion складається з електродів (катодний матеріал в алюмінієвій фользі та анодний матеріал у мідній фользі), розділених пористими сепараторами, змішаними з електролітом. Пакет електродів знаходиться в герметичному корпусі. До молюсків підключаються катода і аноди. Корпус оснащений запобіжним клапаном, який призначений для нормалізації внутрішнього загородження при аваріях і неправильній експлуатації. Принцип роботи Li-ion показаний на рис. 1.2.

Рисунок 1.2 – Будова Li-ion батареї.

До переваг Li-ion належать:

- висока енергоємність;
- глибокі цикли заряду-розряду (70-80%);
- характерною є відсутність ефектів пам'яті.

Слід зазначити, що ресурс і вартість використання Li-ion залежить від типу електрохімічних систем, що використовуються в катоді і аноді, а також

температури і режимів використання.

Головною перевагою Li-ion перед іншими батареями є висока енергоємність, низький саморозряд і велика кількість циклів зарядки.

Основним недоліком батарей першого покоління було те, що вони мали вибуховий ефект. Пізніше проблема була усунена шляхом заміни анодного матеріалу на графіт. Крім того, для Li-ion всі сучасні зарядні пристрої запобігають перезарядженню та перегріву [5].

Для нормального та безпечного функціонування акумулятора необхідна система контролю та управління.

Акумуляторна батарея управління і система управління:

- регулювання струмів заряду і розряду;
- контроль температури в приватних батареях;
- балансування напруги на окремих акумуляторах в процесі зарядки і розряду.

Систему управління та управління Li-ion прийнято класифікувати як активну і пасивну.

Активні системи контролю і управління підключають і заряджають кожну батарею окремо, а пасивні знижують напругу в найбільш заряджених батареях за рахунок пропускання струму через балансний резистор, який підключається паралельно кожній батареї.

Пасивні системи контролю і управління прості і недорогі, але в цьому випадку загальна ефективність батареї низька за рахунок розсіювання частини енергії в тепло. Чим вище початковий «пробіг» окремих батарей, зібраних в цій розсіювальній батареї, тим він буде вище.

А-активний, В-пасивний

Рисунок 1.3 – приклад рішення активної та пасивної схеми системи балансу літій-іонних акумуляторів

Натрієві сірчані акумулятори. Робота натрій-сірчаних акумуляторів наочно

показана на рис. 1.4.

Рисунок 1.4 – Будова натрій-сірчаного акумулятора

Натрій-сірчаний акумулятор має анод з рідкого натрію, твердий електроліт, який дозволяє іонам натрію проходити, та катод з рідкої сірки з графітом. Майбутнє натрій-сірчаних акумуляторів залежить від ряду їх переваг:

- висока ємність енергії та потужності;
- хороше джерело постачання та використання рідких електродів з великим ресурсом;
- відсутність побічних реакцій, щільність і тривале утримання;
- дешевизна і доступність натрію і сірки з основних реагентів [6].

Найбільш поширені свинцеві і лужні (залізо-нікелеві і кадмієво-нікелеві) акумулятори, а також використовуються цинк-срібні, цинк-повітряні і марганцеві.

Вибір найбільш відповідної акумуляторної технології відіграє вирішальну роль у різноманітних сферах застосування, від портативної електроніки до електромобілів і мережевих систем зберігання енергії. Кожна акумуляторна техніка має свої технічні характеристики, параметри роботи та обмеження. Оцінюючи та порівнюючи ці технології, ми можемо отримати інформацію про їх придатність для різноманітних застосувань і приймати обгрунтовані рішення при виборі оптимальної технології акумуляторів.

1.2 Розумна мережа

Smart Grid або smart grid – це модернізація традиційної системи електропостачання, в якій використовуються ІТ-рішення.

Інтелектуальна мережа використовує інформаційні та комунікаційні технології для збору даних. Збираються дані про виробництво та споживання енергії в режимі реального часу, потім аналізуються всі зібрані дані, і на основі

цього аналізу буде більш ефективна, надійна та економічно вигідна схема розподілу електроенергії [8, 9].

Smart Grid – це робота електричної мережі з засобами управління, автоматизованими системами, локальною мережею, новими технологіями та системами моніторингу. Обмін інформацією відіграє важливу роль у забезпеченні передачі, розподілу, ефективного, надійного та безпечного виробництва електроенергії. Стабільна система зв'язку забезпечує стабільний обмін даними між розподіленим сенсорним обладнанням, системами управління даними та системами моніторингу. Все це вимагає швидкого зв'язку, так як генерація, доставка і споживання електроенергії відбуваються одночасно. Крім того, що зв'язок є високошвидкісним, він також повинен забезпечувати безпечну передачу даних, щоб сторонні особи не могли отримати контроль над розподілом електроенергії.

Технології розумних мереж можуть очолити точне керування електромережами, розумна мережа використовує потужну електроніку для контролю передачі енергії та зменшення втрат енергії [10].

Нові технології вимірювання та контролю забезпечують автоматизований підхід до управління мережею та програмне забезпечення для моніторингу мережі в режимі реального часу на предмет потенційних збоїв, які можуть призвести до відключень електроенергії. Таке програмне забезпечення може гасити коливання в електромережі або перенаправляти енергію через мережу, щоб уникнути перевантаження лінії електропередачі. У разі необхідності відключення лінії електроживлення програмне забезпечення для керування може перенаправити живлення таким чином, щоб спричинити мінімальні збої в мережі.

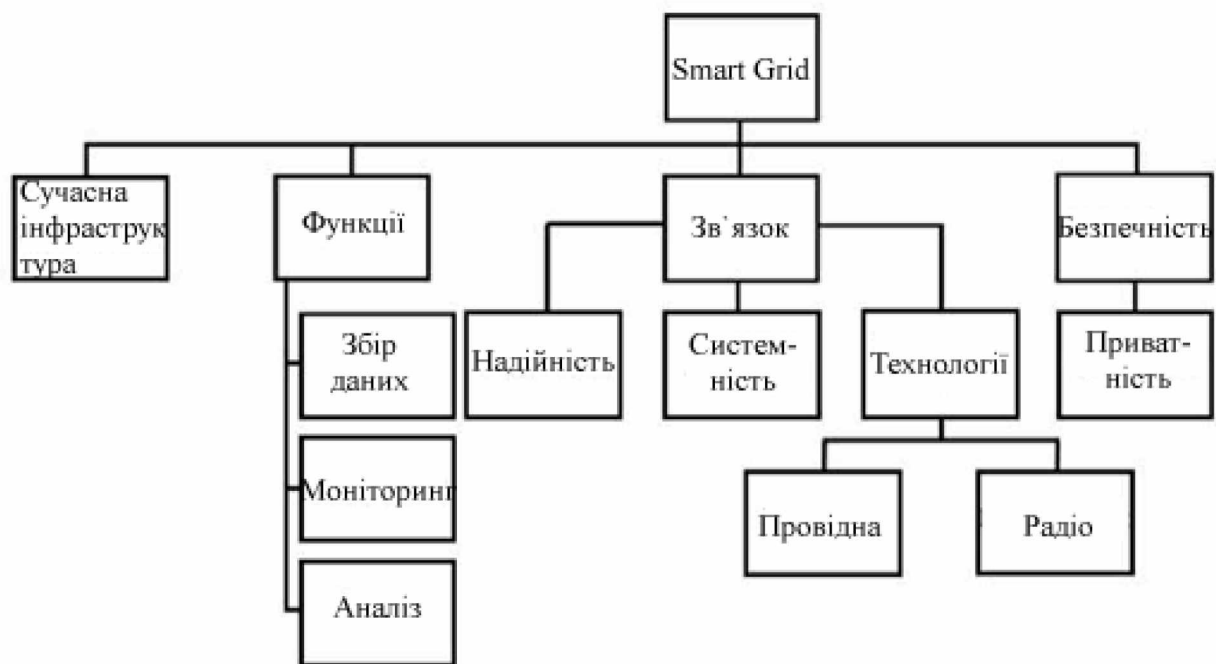


Рисунок 1.5 – Структура Smart Grid

Ідеальна мережа, що самовідновлюється, повинна включати програмне забезпечення для моніторингу та керування системою передачі, а також інтелектуальний аналіз розподілу для місцевих систем розподілу, які забезпечують електроенергією окремі будівлі та підприємства [11-14].

Smart Distribution – це одна з частин Smart Grid, яка займається розподілом комунальних послуг через систему проводів, вимикачів та трансформаторів, які з'єднують комунальну підстанцію зі споживачами. Основною метою розподільного майнінгу є виявлення збоїв і швидке реагування на них. Сьогодні багато комунальних підприємств покладаються на телефонні дзвінки клієнтів, щоб визначити постраждалі ділянки системи розподілу під час відключення електроенергії. Однак за допомогою розумних лічильників та інтелектуального аналізу розподілу можна швидко визначити джерело відключення електроенергії, щоб ремонтні бригади могли негайно виїхати на проблемне місце.

Реакція утиліти на збої також може покращитися при використанні автоматизованої системи. Більшість комунальних підприємств використовують

складні схеми розподілу електроенергії та ручне перемикання, щоб забезпечити електропостачання більшості своїх клієнтів, навіть у разі пошкодження та руйнування ліній електропередач. Однак такий підхід має свої обмеження, і в багатьох випадках автоматизована система може реагувати швидше та забезпечувати електроенергією більшу кількість клієнтів.

Завдяки розумним лічильникам, які можуть повідомляти, коли частини системи розподілу втратили живлення, і поєднанню автоматичного перемикання з інтелектуальною системою, яка визначає, як найкраще реагувати на відключення, електроенергія може бути перенаправлена більшості клієнтів за лічені секунди або мілісекунди.

1.3 Двосторонній зв'язок

Двосторонній зв'язок у Smart Grid забезпечує обмін інформацією між електромережею та пристроями, які підключені до мережі, такими як лічильники електроенергії, сонячні панелі, системи накопичення електроенергії та інші пристрої управління енергією [15].

Системи двостороннього зв'язку можуть відправляти інформацію в обох напрямках: від пристрою в мережу і з мережі на пристрій. Пристрої можуть передавати в систему управління енергією інформацію в режимі реального часу про споживання енергії, виробництво енергії, стан батареї та інші параметри. Система управління може використовувати цю інформацію для прийняття рішень про те, як оптимізувати використання енергії в мережі.

З іншого боку, система управління може надсилати інформацію про енергетичне навантаження на різні пристрої. Наприклад, система керування може надсилати сигнали, які повідомляють пристроям, коли тарифи на електроенергію досягли свого піку або коли в мережі виникають проблеми з електроенергією. Пристрої можуть використовувати цю інформацію для прийняття рішень щодо оптимізації використання енергії. Наприклад, вони можуть регулювати споживання електроенергії в залежності від тарифів або часу доби. Таким чином,

двосторонній зв'язок у Smart Grid дозволяє ефективно керувати споживанням енергії та виробництвом, забезпечуючи більш стійку та ефективну мережу передачі.

Рисунок 1.2 – Приклад двостороннього зв'язку

1.4 Роль споживача

У Smart Grid важливу роль відіграє споживач, оскільки система будується навколо його потреб та вподобань. Споживач може стати активним учасником системи, що дозволяє йому управляти споживанням електроенергії, економити кошти та зменшувати вплив на навколишнє середовище [16].

Для того, щоб стати активним учасником Smart Grid, споживач повинен мати доступ до інформації про споживання електроенергії в режимі реального часу. Наприклад, споживач може встановити у себе вдома розумний термостат, який

буде автоматично регулювати температуру в залежності від часу доби і кількості людей в приміщенні, що дозволить економити на електриці.

Також є можливість створити спеціальну функцію винагороди клієнта, яка дозволяє винагороджувати споживача за згоду обмежити споживання електроенергії в пікові періоди. Наприклад, у спекотний день, коли всі користуються кондиціонером, електромережа може бути перевантажена. У такому разі енергетичні компанії можуть звернутися до споживачів і запропонувати їм тимчасово обмежити споживання електроенергії в обмін на знижки на оплату електроенергії.

Крім того, споживач може використовувати можливості накопичення енергії. Наприклад, встановлення сонячних панелей на даху його будинку дозволить йому виробляти власну електроенергію та зберігати її в батареях для використання в пікові періоди або коли ціни на електроенергію на ринку високі.

Таким чином, споживач відіграє важливу роль у Smart Grid, а його активна участь може призвести до підвищення енергоефективності та економії коштів.

1.5 Функції Smart Grid

Існує 7 основних характеристик концепції розумних мереж [17].

1) Автоматизація: Smart Grid дозволяє автоматизувати багато процесів, таких як моніторинг, управління та контроль, що підвищує ефективність всієї системи.

2) Інтелектуальні: використовуючи сучасні технології та алгоритми, можна оптимізувати енергетичні потоки, управляти навантаженнями, виявляти і реагувати на збої, а також максимізувати використання відновлюваних джерел енергії.

3) Гнучкість: швидка адаптація до змін навантажень, а також можливість інтеграції нових джерел енергії, що дозволяє більш ефективно використовувати наявні ресурси.

4) Надійність: Smart Grid має підвищену надійність за рахунок використання сучасних технологій та алгоритмів, які дозволяють виявляти збої та реагувати на них, а також швидко відновлювати систему у разі аварії.

5) Економічно ефективна: Smart Grid дозволяє більш ефективно використовувати наявні ресурси та знижує витрати на виробництво та транспортування енергії, що призводить до економічних вигод для споживачів та виробників енергії.

6) Інтеграція з клієнтами: використання інтелектуальних лічильників електроенергії дозволяє здійснювати двосторонній потік інформації в режимі реального часу між споживачем і постачальником електроенергії. Завдяки цьому вдається створювати гнучкі тарифи ціноутворення, які враховують поточну ситуацію в мережі.

7) Адаптивність: здатність Smart Grid адаптуватися до різних джерел виробництва електроенергії, включаючи децентралізовані джерела, такі як сонячні батареї та вітрогенератори. Оскільки виробництво електроенергії з таких джерел є нестабільним і важко передбачуваним, розумні мережі допомагають регулювати та керувати споживанням та виробництвом електроенергії в режимі реального часу, щоб забезпечити більш ефективне та економічне використання електроенергії.

1.6 Розумні лічильники

Розумні лічильники (також звані розумними лічильниками) є ключовим елементом інфраструктури Smart Grid. Вони мають ряд особливостей, які роблять їх більш ефективними в порівнянні з традиційними лічильниками.

На відміну від традиційних лічильників, які просто вимірюють загальне споживання електроенергії, розумні лічильники дозволяють збирати дані про споживання енергії в режимі реального часу. Це дозволяє споживачам бачити, скільки енергії вони споживають в даний момент, а також відстежувати споживання в конкретні години доби або тижня. Ці дані допомагають споживачам

приймати більш обґрунтовані рішення щодо споживання енергії [18, 19].

Розумні лічильники також мають можливості двостороннього зв'язку, що дозволяє мережевим компаніям збирати дані про споживання енергії і управляти його потоком. Це дозволяє компаніям ефективно управляти енергією та запобігати перевантаженню мережі, що може призвести до аварій та простоїв.

Ще однією перевагою розумних лічильників є можливість керувати ними віддалено. За допомогою розумних лічильників компанії можуть змінювати тарифи в режимі реального часу, в залежності від попиту та пропозиції, а також вмикати та вимикати електропостачання дистанційно. Це робить управління мережею більш ефективним і економічно вигідним.

Крім того, розумні лічильники забезпечують більшу точність у вимірюванні споживання енергії. Вони можуть вимірювати не тільки загальне споживання, але й точні терміни споживання енергії, що може допомогти споживачам і компаніям зменшити витрати на енергію.

Принцип роботи всієї системи передбачає використання розумного лічильника, який фіксує кількість спожитої електроенергії і передає дані в систему обліку. Це може бути як одиночний пристрій, так і група пристроїв, що працюють разом. У розподільному щитку встановлюється багатотарифний електролічильник, а контролер системи встановлюється там же або на відстані до 1 км, передаючи інформацію в хмарний сервіс.

Рисунок 1.3 – Принцип роботи розумного лічильника

Хмарне сховище, розташоване в захищеному дата-центрі, зберігає всі дані про споживання. Програмне забезпечення клієнта дозволяє переглядати дані через веб-браузер або безкоштовні мобільні додатки. Система працює таким чином, що лічильник враховує кіловати, силу струму і напругу, контролер отримує інформацію про використання за тарифами і годинами, а потім передає показання в хмарне сховище. Сервер компанії, що постачає електроенергію, отримує дані та зберігає їх у хмарі. Користувач може переглядати дані через обліковий запис у хмарному сервісі та оцінювати обсяги споживання за годинами, днями та місяцями,

а також налаштовувати автоматичну відправку даних постачальнику ресурсів.

У системі Smart Grid існує кілька типів контролерів, які виконують різні функції та відіграють важливу роль в управлінні та моніторингу енергетичної інфраструктури. Нижче наведено деякі з основних типів контролерів у Smart Grid.

Види контролерів і варіанти передачі даних на сервері:

1) GPRS контролери: для роботи GPRS контролера необхідно встановити сім-карту, а контролер підключається до лічильників за допомогою дроту і передає показання серверу за допомогою стільникового зв'язку. Однак необхідно враховувати, що рівень стільникового зв'язку може відрізнитися в різних районах і квартирах, тому може знадобитися використання декількох операторів. Крім того, контролери найкраще працюють від електричної розетки, яка не завжди розташована поруч з лічильниками.

Існують також моделі контролерів, що працюють від батарейок, але ця технологія енергоємна, що змушує виробників йти на компроміс між терміном служби, вартістю батареї та частотою сервера. Крім того, при використанні сім-карти необхідно контролювати залишок грошей на ній, щоб уникнути додаткових витрат.

2) Контролери LPWAN: технологія бездротового зв'язку, яка спеціально розроблена для передачі невеликих обсягів даних із датчиків і інтелектуальних лічильників на сервер із меншим споживанням енергії, ніж GPRS. На відміну від GPRS, постачальники рішень LPWAN встановлюють спеціальні вишки в районах будинків і мікрорайонів для зв'язку з домашніми контролерами і передачі даних. Це економить ресурси контролера і забезпечує стабільний рівень сигналу.

Однак установка вишок – це масштабна операція, яка лягає на власників фермерських підприємств у вигляді фінансового тягара. Крім того, вежі вимагають обслуговування і підтримки, що тягне за собою абонентську плату. Щоб використовувати контролери LPWAN, власник лічильника повинен брати участь у колективному рішенні з іншими власниками в районі.

3) Контролери Wi-Fi: дозволяють підключатися до розумного лічильника по дроту, а потім відправляти дані по Wi-Fi на сервер. Контролери Wi-Fi

споживають мало енергії, що дозволяє їм працювати від батарейок. При щоденній передачі даних на одну пару стандартних батарейок типу АА, які продаються в будь-якому супермаркеті, пристрій може пропрацювати більше трьох років. Немає необхідності встановлювати електричну розетку в шафі у ванній кімнаті, так як батареї можна замінити самостійно.

Контролери Wi-Fi є персональною технікою, і їх установка не вимагає узгодження з керуючою компанією або інженерною службою. Ці пристрої можна придбати в магазині, підключити і відразу ж почати ними користуватися. Показники води, газу, електрики та тепла можна легко контролювати на мобільному телефоні або комп'ютері. Wi-Fi є найбільш швидкозростаючим стандартом зв'язку у світі.

4) Контролери NB-IoT: контролери NB-IoT працюють через стільникові мережі, які підтримують цей стандарт. У лінійці пристроїв представлені моделі з корпусом, захищеним IP66, які витримують широкий діапазон робочих температур (від мінус 30 до плюс 50 градусів).

Точка встановлення контролера повинна знаходитися в зоні покриття мережі NB-IoT. У вартість таких пристроїв вже входить ціна мережевого трафіку на 6 років або 12 Мб.

Ідентифікація клієнта здійснюється за допомогою сім-карти одного з операторів зв'язку, а живлення модуля зв'язку здійснюється від зовнішнього джерела або вбудованого літійового акумулятора ємністю 6000 мАг.

До переваг контролерів NB-IoT можна віднести стабільну роботу, енергонезалежну пам'ять, автономність на літійовій батареї до 6 років, передплатений трафік протягом 6 років, можливість підключення до 32 периферійних пристроїв.

Основним недоліком є обмежене поширення мереж IoT.

Висновок до розділу 1

У розділі розглядаються сучасні системи накопичення електроенергії (ESS) та технології інтелектуальних енергомереж (Smart Grid). Основними типами акумуляторів є свинцево-кислотні, гелеві, нікель-кадмієві, літій-іонні та натрій-сірчані, кожен із яких має свої переваги та недоліки в залежності від умов експлуатації. Smart Grid інтегрує IT-рішення для ефективного управління енергоспоживанням, забезпечує двосторонній зв'язок між споживачами та мережею, підвищує надійність і швидкість реакції на збої, а також дає змогу споживачам активно брати участь у регулюванні навантаження і економії енергії.

2 ПІДБІР ПОТУЖНОСТІ АКБ

2.1 Роль накопичувачів енергії (ESS) в інтелектуальних мережах

Особливу роль у розвитку Smart Grid відіграє накопичувач енергії, що представляє собою новий підхід до управління електроенергією, заснований на цифрових технологіях та інноваційних рішеннях.

Зберігання енергії зменшує залежність від традиційних джерел енергії, таких як газ, нафта та вугілля, і сприяє переходу на відновлювані джерела енергії, такі як сонце та вітер. Це дозволяє знизити навантаження на мережу та зменшити викиди парникових газів, що особливо важливо для боротьби зі зміною клімату.

Крім того, накопичувачі енергії можуть підвищити стійкість електромереж до збоїв та підвищити їх ефективність та економічність. Вони дозволяють зберігати енергію з відновлюваних джерел у періоди, коли виробництво перевищує споживання, і використовувати в періоди пікового споживання для зниження навантаження на електромережу та запобігання перевантажень.

Накопичувач енергії також може використовуватися для управління навантаженням в системі Smart Grid. Їх можна заряджати в періоди низького попиту і використовувати для згладжування пікових навантажень за рахунок подачі додаткової енергії під час пікового попиту. Це допомагає збалансувати навантаження в системі та підвищує енергоефективність.

Таким чином, накопичувачі енергії є важливим елементом у розвитку Smart Grid, що дозволяє створити більш ефективну та стійку систему енергопостачання на основі відновлюваних джерел енергії та цифрових технологій.

2.2 Розрахунок ефективності використання накопичувачів енергії та побудова графіка добового навантаження

У цьому підрозділі аналізується добове енергоспоживання фермерського підприємства, включаючи розрахунок і оцінку енергії, необхідної для забезпечення

роботи різних приладів і систем протягом 24 годин. На основі отриманих даних був побудований графік добового навантаження, що відображає зміни в споживанні енергії протягом доби. Крім того, було розраховано ефективність накопичення енергії, щоб визначити, чи можна використовувати ці пристрої для згладжування піків навантаження та оптимізації споживання енергії.

Таблиця 2.1 – Дані споживачів фермерського підприємства

Найменування обладнання	P_n , кВт·год (на	Кількість	U_n , В	Час роботи τ , год
Зовнішнє устаткування				
Світлодіодна фітолампа для парнику	0,02	24	220	5
Компресор системи орошування	1,2	1	220	1
Вуличне освітлення	0,7	2	220	10
Привід воріт	0,2	1	220	0,2
Нагрівач/завіса для парнику	1	2	220	6
Пральна машина для спецодягу	1,3	1	220	1,5
Господарське/офісне устаткування				
Холодильна техніка	0,3	1	220	24
Чайник	2,1	1	220	0,2
Кавоварка	2,0	1	220	0,2
Лептоп	0,2	1	220	6
Телевізор/система відеонагляду	0,2	1	220	6
Кондиціонер	1	1	220	1,5
Місце комп'ютера	0,4	1	220	5
Котел	2	1	220	4
Зарядний пристрій	0,02	4	220	1
Пилосос	1,2	1	220	0,5
Мікрохвильова піч	2	1	220	0,2

Таблиця 2.2 – Показання лічильників фермерського підприємства

Час вимірювання, год	0	4	8	12	16	20	24
Показання лічильника, кВт · год	1,8	5,8	8,1	14,9	16,5	25,44	30,94

Визначимо середню потужність на кожному інтервалі

$$P = \frac{W_{i+1} - W_i}{\Delta t}. \quad (2.1)$$

де, W_i - показання лічильника, кВт · год;

Δt – час вимірювання, год.

$$P_1 = \frac{5,8 - 1,8}{4} = 1 \text{ кВт}$$

$$P_2 = \frac{8,1 - 5,8}{4} = 0,575 \text{ кВт}$$

$$P_3 = \frac{14,9 - 8,1}{4} = 1,7 \text{ кВт}$$

$$P_4 = \frac{16,5 - 14,9}{4} = 0,4 \text{ кВт}$$

$$P_5 = \frac{25,44 - 16,5}{4} = 2,235 \text{ кВт}$$

$$P_6 = \frac{30,94 - 25,44}{4} = 1,375 \text{ кВт}$$

Визначаємо різницю між останнім і першим показаннями лічильника

$$W = (W_7 - W_1). \quad (2.2)$$

$$W = (30,94 - 1,8) = 29,14 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Визначаємо суму потужностей, отриманих при розрахунку навантажень

$$W = \Delta t \sum_{i=t}^6 P_i.$$

$$W = 4 \cdot 7,285 = 29,14 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \quad (2.3)$$

Визначаємо середнє значення навантаження.

Рисунок 2.1 – Графік добового навантаження фермерського підприємств

Графік навантажень (рис. 2.1) в цьому випадку має єдиний характер, так як коефіцієнт форми дорівнює одиниці. Коефіцієнт заповнення графіка не дорівнює одиниці, що свідчить про наявність в будинку як довгострокових, так і короткочасних споживачів електроенергії. Низьке значення коефіцієнта нерівномірності підтверджує, що споживання енергії в будинку нерівномірно розподіляється протягом дня.

Визначення часу використання максимального навантаження.

$$T_{max} = \frac{W}{P_{max}} \quad 2.4$$

де P_{max} – максимальна середня потужність, кВт.

$$T_{max} = \frac{29.14}{2.235} = 13 \text{ год}$$

Визначаємо середнє значення навантаження

$$P_c = \frac{W}{24} \quad 2.5$$

$$P_c = \frac{29.14}{24} = 1,214 \text{ кВт}$$

Визначаємо середнє квадратичне значення потужності

$$P_{СКВ} = \sqrt{\frac{\Delta\tau \sum_{i=1}^6 P_i^2}{T}} \quad 2.6$$

$$P_{СКВ} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11.3}{24}} = 1.37 \text{ кВт}$$

Визначення коефіцієнта форми графіку

$$k_{\phi} = \frac{P_{\text{СКВ}}}{P_c} \quad 2.7$$

$$k_{\phi} = \frac{1,37}{1,214} = 1,13$$

Визначення коефіцієнта заповнення графіка

$$k_3 = \frac{P_c}{P_{\text{max}}} \quad 2.8$$

$$k_3 = \frac{1,214}{2,235} = 0,54$$

$$k_3 = \frac{T_{\text{max}}}{T} \quad 2.9$$

$$k_3 = \frac{13}{24} = 0,54$$

Визначення нерівномірності заповнення

$$k_{\text{нз}} = \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}} \quad 2.10$$

$$k_{\text{нз}} = \frac{0,4}{2,235} = 0,14$$

Таблиця 2.3 – Номінальні характеристики акумуляторної батареї [20]

Назва	U, В	C, а·h	Термін служби	Вартість, грн
RA12-100DG	12	100	10 років	7 000

Визначаємося з потужністю

$$P = \frac{U}{C} \quad 2.11$$

де, U – номінальна напруга акумуляторної батареї, В;

C - номінальна продуктивність, а-год.

$$P = 12 \cdot 100 = 1200 \text{ Вт} \cdot \text{год.}$$

Згідно з рекомендаціями щодо правильної експлуатації пристроїв накопичення енергії, акумулятори слід тримати зарядженими не менше 25 відсотків від їх максимальної ємності.

Визначення номінальної потужності

$$P_H = P \cdot 0.75 \quad 2.12$$

$$P_H = 1200 \cdot 0.75 = 900 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Підбір сонячної панелі проводимо за технічними характеристиками табл.

2.4.

Таблиця 2.4 – Номінальні характеристики сонячних панелей сонячних панелей [21]

Назва	Solar Board 150 W	Термін роботи	10 років
Технологія	Монокристал	Кількість	1
U, В	12	Вартість, грн	4 000
Габаритні розміри, мм	1480x680x35	Вага, кг	8

Визначаємо вироблення електроенергії за допомогою сонячної панелі

$$P_B = S_{\Pi} \cdot E \cdot \eta \cdot \frac{\tau}{1000} \quad 2.13$$

де τ - число сонячних годин, год;

S_{Π} - площа однієї панелі, м²;

E - щільність освітленості поверхні, Вт/кв² · м;

η – ККД роботи панелі.

В ідеальних умовах

$$P_B = 1 \cdot 1000 \cdot 0,16 \cdot \frac{15}{1000} = 2,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/день}$$

$$P_B = 2,4 \cdot 30 = 72 \text{ кВт} \cdot \text{год/міс}$$

Розглянемо більш реалістичну ситуацію. До розрахунку візьмемо 75 відсотків ідеальної щільності освітленості поверхні і тривалість перебування сонячного світла протягом 13 годин. (Літній день)

$$P_B = 1 \cdot 750 \cdot 0,16 \cdot \frac{13}{1000} = 1,56 \text{ кВт} \cdot \text{год/день}$$

$$P_B = 1,56 \cdot 30 = 46,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/міс}$$

Розглянемо ситуацію при несприятливих умовах. До уваги береться 50 відсотків ідеальної щільності освітленості поверхні і тривалість перебування сонячного світла протягом 8 годин. (Зимовий день)

$$P_B = 1 \cdot 500 \cdot 0,16 \cdot \frac{8}{1000} = 0,64 \text{ кВт} \cdot \text{год/день}$$

$$P_B = 0,64 \cdot 30 = 19,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/міс}$$

На підставі проведених розрахунків можна зробити висновок, що виробництво електроенергії сонячною панеллю перевищує можливості окремо взятої батареї. У цьому варіанті з рекомендується заряджати акумулятор від мережі в період найменшої сонячної активності.

На літньому графіку (рис 2.4) видно, що використання акумуляторної батареї дозволило знизити пікове навантаження на систему електропостачання. На піку навантаження становило 1,335 кВт при використанні АКБ, тоді як без батареї навантаження становило 2,235 кВт. Таким чином, зниження навантаження з батареєю склало 40 відсотків, що доводить доцільність використання накопичувачів енергії в Smart Grid.

Рисунок 2.4 – Літній графік добового навантаження фермерського підприємства з використанням акумуляторної батареї

Рисунок 2.5 – Зимовий графік добового навантаження фермерського підприємства з використанням акумуляторної батареї

Зимовий графік показує помітні зміни у двох часових інтервалах: вранці (8-12) та вечірньому (16-20). У вечірній період навантаження становило 2,985 кВт, тоді як у літньому графіку навантаження становило 2,235 кВт, тобто навантаження у вечірній період було збільшено на 33 відсотки. У ранковий період навантаження становило 2,2 кВт, тоді як у літньому графіку навантаження становило 1,7 кВт, вранці навантаження було збільшено на 29 відсотків. Використовуючи батарею у вечірній час, навантаження становило 2,085 кВт. Таким чином, на зимовому графіку зниження навантаження за допомогою акумулятора склало 30 відсотків.

Висновок до розділу 2

У дослідженні проаналізовано добове енергоспоживання фермерського підприємства та ефективність використання накопичувачів енергії (АКБ) і сонячних панелей у системі Smart Grid. Результати показали, що АКБ суттєво знижують пікове навантаження на електромережу – на 40% влітку та на 30% взимку. Сонячна панель, залежно від погодних умов, здатна виробляти достатньо

енергії для часткового чи повного заряджання АКБ, знижуючи залежність від зовнішнього живлення. Таким чином, впровадження ESS підвищує енергоефективність, стійкість і екологічність енергопостачання підприємства.

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Основою для розподілу електричної енергії між споживачами та зовнішньою і внутрішньою мережами є сонячний інвертор.

Згідно попередніх розрахунків максимальне навантаження мережі з використанням накопичувачів електричної енергії становило $P_M = 1,335$ кВт.

Для забезпечення стабільної роботи сонячного інвертора виробники рекомендують приймати потужність із запасом у 130%.

$$P_1 = P_M \cdot 1,3 \quad 3.1$$

$$P_1 = 1,335 \cdot 1,3 = 1,736 \text{ кВт}$$

З урахуванням вихідних параметрів приймаємо сонячний інвертор PV1800-1612 ECO (рис. 3.1) – високочастотний автономний сонячний інвертор потужністю 1.6кВт (пікова 3,2) / PV 400 Подвійний вихід акумуляторів DC 12V. Технічні характеристики наведено у таблиці 3.1.

Рисунок 3.1 – Сонячний інвертор PV1800-1612 ECO

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики PV1800-1612 ECO [22]

Назва	Anerm PV1800-1612 ECO	Сонячна потужність	до 2000 Вт
Технологія	Чистий синус	Кількість	1
U, В	12	Вартість, грн	6 000
Габаритні розміри, мм	360X270X100	Вага, кг	4,4

Технологічна схема автоматизованого використання накопичувачів енергії складається з шести основних компонентів: моделі сонячного випромінювання, системи накопичення енергії, перетворювача постійної напруги (контролера заряду), системи розподілу енергії, інвертора та електричного навантаження (рис. 3.2).

Рисунок 3.2 – Схема автоматизованого використання накопичувачів енергії

Імітаційна модель включає систему накопичення енергії, яка складається з монокристалічних фотоелектричних модулів Solar Board з номінальною потужністю 150 Вт. У системі накопичення енергії використовуються гелієво-свинцево-кислотний акумулятор Ritar RA12-100DG. Номінальна напруга системи накопичення енергії приймається рівною 12 В.

Схема демонструє можливість автоматизованої роботи таких систем, де система розпізнає моменти підвищеного навантаження і автоматично підключає акумулятори до мережі в такі моменти. Сонячна панель також має можливість автоматичного перемикавання між різними споживачами. Наприклад, якщо батарея повністю заряджена, а сонячна панель продовжує виробляти електроенергію, вона автоматично переключиться на живлення в мережу. Весь цей процес здійснюється без необхідності втручання людини, що демонструє потенціал зберігання енергії в концепції Smart Grid.

Висновок до розділу 3

У розрахунку електричної розподільної мережі розглянуто використання сонячного інвертора PV1800-1612 ECO для забезпечення стабільної роботи системи з максимальним навантаженням 1,335 кВт. З урахуванням запасу потужності (130%) пікова потужність інвертора становить 1,736 кВт. Запропоновано технологічну схему автоматизованої роботи системи накопичення енергії з монокристалічними сонячними модулями та акумуляторами, що дозволяє ефективно розподіляти енергію без участі людини, реалізуючи принципи Smart Grid.

4. ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Економічна ефективність

Техніко-економічний розрахунок проводився за методом затрати-ефективність з урахуванням вартості обладнання та грошової економії на електроенергії за рік. Актуальні тарифи ТОВ «Полтаваобленерго» на 2025 рік наведено у табл. 4.1 [23].

Таблиця 4.1 – Тарифи ТОВ «Полтаваобленерго»

Вартість електроенергії	Рівень 1,736 кВт · год, денний тариф, грн.
Вартість електроенергії за 1 кВт · h	5,67

Згідно розрахунків вище, за рахунок використання сонячної енергії у різні сезони можна заощадити наступну кількість електроенергії:

- у літній період (1 місяць) 72 кВт·год/міс.;
- у весняно-літній період (6 місяців) 46,8 кВт·год/міс.;
- у осінньо-зимовий(3місяці) 19,2 кВт·год/міс.

Сумарне значення грошової економії на рік складає:

$$\begin{aligned} E &= 72 \cdot 5,67 + 46,8 \cdot 5,67 \cdot 6 + 19,2 \cdot 5,67 \cdot 3 = & 3.1 \\ &= 408,24 + 1592,14 + 326,59 = 2326,97 \end{aligned}$$

Основні витрати на встановлення системи накопичення електричної енергії складають:

- акумулятор RA12-100DG – 7 000 грн;
- сонячна панель Solar Board 150 W – 4000 грн;
- інвертор Аперн PV1800-1612 ECO – 6000 грн.
- разом 17 000 грн.

Термін окупності такої системи складає:

$$E = \frac{17000}{2326,97} = 7,3 \text{ роки}$$

3.1

Слід зазначити, що фінансова ефективність є супутньою до можливості безперебійної роботи підприємства, тому що навіть нетривала відсутність електроенергії може призвести до суттєвих економічних збитків

4.2 Загальні вимоги безпеки

Для виконання робіт з експлуатації електростанції напругою до 1000 В (монтаж, мастильні матеріали, обладнання, технічні засоби навчання та електромобілі) залучаються працівники, які пройшли медичні огляди та отримали інструктаж з виконання робіт. Неелектротехнічний персонал, який експлуатує електростанції напругою до 1000 В, після проходження інструктажу та перевірки знань з електродопуску та присвоєння першої кваліфікаційної групи реєструється у журналі встановленого зразка [24, 25].

Кількість осіб, які були переведені на роботу електростанцій напругою до 1000 В, повинна відповідати правилам внутрішнього трудового забезпечення, встановленим режимам праці та відпусток.

При експлуатації електростанції напругою до 1000 В повинні експлуатуватися такі засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, діелектричні кожухи, килимки, інструмент з ізольованими головками.

Працівники, що експлуатують електростанції напругою до 1000 В, зобов'язані виконувати правила пожежної безпеки, знати місця розташування первинних засобів пожежогасіння.

У процесі експлуатації персоналом електроустановки необхідно дотримуватися правил користування засобами індивідуального захисту, встановити правила особистої гігієни, передбачити відповідне робоче місце.

У зв'язку з відсутністю положення або порушення інструкцій з охорони праці, притягнення до дисциплінарної відповідальності здійснюється з

дотриманням правил внутрішнього трудового розпорядку і, при необхідності, вводиться внутрішній аудит норм і правил охорони праці.

Вимоги безпеки перед початком роботи: перевірити стан зовнішніх електростанцій, наявність і використання контрольних, відбивних і сигнальних приладів. Перевірити заземлення.

Вимоги безпеки під час роботи: не включати електростанцію в електромережу мокрими руками, не дозволяється працювати на електроустановках у разі їх несправності, іскріння, порушення ізоляції та заземлення.

В електроустановках напругою до 1000 В з усіх наступних ланцюгів, в яких будуть проводитися роботи, порядок дій повинен бути зведений до розмикання комутаційних апаратів, а у випадку додаткового обладнання – до зняття один за одним.

Висновок до розділу 4

Запропонована система на основі сонячної енергії дозволяє заощаджувати близько 2327 грн на рік за рахунок зниження споживання електроенергії, при вартості обладнання 17 000 грн. Термін окупності становить приблизно 7,3 роки. Окрім економічної ефективності, система забезпечує надійність енергопостачання, що критично важливо для безперебійної роботи підприємства. Роботи з експлуатації здійснюються згідно з вимогами охорони праці та безпеки, включаючи допуск персоналу, використання засобів індивідуального захисту та дотримання пожежної безпеки.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто сучасні системи накопичення електроенергії (ESS) та технології інтелектуальних енергомереж (Smart Grid).
2. Основними типами акумуляторів є свинцево-кислотні, гелеві, нікель-кадмієві, літій-іонні та натрій-сірчані, кожен із яких має свої переваги та недоліки в залежності від умов експлуатації.
3. Smart Grid інтегрує ІТ-рішення для ефективного управління енергоспоживанням, забезпечує двосторонній зв'язок між споживачами та мережею, підвищує надійність і швидкість реакції на збої, а також дає змогу споживачам активно брати участь у регулюванні навантаження і економії енергії.
4. Проаналізовано добове енергоспоживання фермерського підприємства та ефективність використання накопичувачів енергії (АКБ) і сонячних панелей у системі Smart Grid. Результати показали, що АКБ суттєво знижують пікове навантаження на електромережу – на 40% влітку та на 30% взимку.
5. Сонячна панель, залежно від погодних умов, здатна виробляти достатньо енергії для часткового чи повного заряджання АКБ, знижуючи залежність від зовнішнього живлення. Таким чином, впровадження ESS підвищує енергоефективність, стійкість і екологічність енергопостачання підприємства.
6. У розрахунку електричної розподільної мережі розглянуто використання сонячного інвертора PV1800-1612 ЕСО для забезпечення стабільної роботи системи з максимальним навантаженням 1,335 кВт. З урахуванням запасу потужності (130%) пікова потужність інвертора становить 1,736 кВт.
7. Запропоновано технологічну схему автоматизованої роботи системи накопичення енергії з монокристалічними сонячними модулями та акумуляторами, що дозволяє ефективно розподіляти енергію без участі людини, реалізуючи принципи Smart Grid.
8. Запропонована система на основі сонячної енергії дозволяє заощаджувати близько 2327 грн на рік за рахунок зниження споживання електроенергії, при вартості обладнання 17 000 грн. з терміном окупності приблизно 7,3 роки.

9. Окрім економічної ефективності, система забезпечує надійність енергопостачання, що критично важливо для безперебійної роботи підприємства.

10. У подальшому дослідження можуть бути зорієнтовані на аналіз ефективності зберігання енергії за умов зміни тарифів і модернізації енергетичної інфраструктури. Це дасть змогу визначити найкращі умови та підходи до впровадження систем накопичення енергії в контексті розвитку концепції Smart Grid.