



Проект
Енергетичної
Безпеки

Методологія розробки проєктів мікромереж

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗА
ДОПОМОГОЮ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Програма



- Оцінювання пропонованого регіону для створення мікромережі
- Збір даних
- Визначення меж мікромережі
- Визначення потреб мікромережі в електроенергії для режимів ізольованого та централізованого електропостачання
- Аналіз навантажень
- Планування виробітку електроенергії та співставлення виробітку зі споживанням
- Моделювання та аналіз режимів роботи мереж для перевірки сценаріїв роботи мікромереж
- Вибір систем телеметрії/телеуправління та системи управління мікромережами (СУМ)
- Оцінка вартості
- Економічне порівняння проєктних рішень (або вибір проєктного рішення шляхом оптимізації)

Цілі та етапи планування і проєктування мікромереж

Цілі

Підвищити енергетичну стійкість за допомогою мережевих рішень

Зменшити залежність від централізованого електропостачання

Забезпечити надійне електропостачання під час відключень, стихійних лих або в періоди пікового попиту

Забезпечити локалізований, ефективний та гнучкий енергоменеджмент

Врахувати існуючі ВДЕ та розподілене генерування

Основні кроки планування та проєктування

1

Оцінювання пропонованого регіону мікромережі

2

Визначення критичних споживачів та аналіз їхніх навантажень

3

Визначення меж мікромережі

4

Визначення потреб мікромережі в електроенергії для режимів ізольованого та централізованого електропостачання

5

Планування виробітку електроенергії та співставлення виробітку зі споживанням

6

Моделювання та аналіз режимів мереж для перевірки сценаріїв роботи мікромереж

7

Вибір систем телеметрії/телеуправління та системи управління мікромережами

8

Оцінка вартості

9

Економічне порівняння проєктних рішень

Оцінка пропонованого регіону мікромережі

ДАНІ ДЛЯ ОЦІНКИ	МЕТА ВИКОРИСТАННЯ
1. Цифрова модель мережі (або однолінійні схеми мережі)	Загальна проєктна діяльність для регіонів-кандидатів та аналіз енергосистем (головним чином для визначення пропускної здатності наявних ліній електропередач та трансформаторів або необхідної модернізації, якщо потрібна більша потужність)
2. Географічне розташування наявних компонентів системи	Фізичне розташування системи та оптимальний розподіл критичних навантажень і генерування
3. Наявні дані про генерування	Комплексна оцінка наявних та потенційних джерел генерування, включаючи керовані та некеровані джерела, для забезпечення достатності встановленої потужності відповідно до потреб електричних навантажень з урахуванням таких факторів, як експлуатаційні характеристики, доступність палива та економічні міркування
4. Дані про споживання критичних та некритичних навантажень	Необхідні для детального аналізу даних про навантаження, в ідеалі з використанням даних про споживання з високою дискретизацією за тривалі відрізки часу, щоб забезпечити точний розрахунок і оптимальну ефективність як в режимі підключення до мережі, так і в автономному режимі
5. Захист і перемикання мережі	Визначити наявні пристрої, які можуть бути точками розриву або секціонування мікромережі, або модернізацію, необхідну для безпечної експлуатації мікромережі
6. Інвестиції та планування розвитку	Для узгодження планів розвитку наявної мережі та створення проєкту, який відповідатиме цим інвестиційним планам
7. Розгляд можливих варіантів нових джерел енергії	Ці дані, включаючи доступність місця розташування, варіанти постачання палива, економічні стимули та можливість з'єднання, є основою для прийняття важливих рішень при проєктуванні мікромереж для оптимізації структури генерації, схеми системи та загальної продуктивності як для звичайних, так і для аварійних режимів роботи
8. Наявні системи телеметрії та телеуправління	Будь-які наявні системи диспетчерського контролю та збору даних (SCADA), автоматизованого зняття показань лічильників (AMR) тощо повинні розглядатися як частина системи управління мікромережею або бути інтегрованими в запроєктовану систему моніторингу та управління
9. Поточна надійність та ефективність роботи мережі	Історичні дані мають вирішальне значення для забезпечення того, щоб запропоновані мікромережеві рішення підвищували надійність і стійкість мережі, а огляди поточних систем та практик технічного обслуговування на конкретних об'єктах дають розуміння напрямків ефективної інтеграції мікромереж і зменшення кількості відключень

Визначення критичних споживачів та аналіз їхнього навантаження

- ✓ Технічні рішення проєкту повинні мати потужність, достатню для підтримки пікових навантажень критично важливих систем під час нормальної та пікової роботи (разом із будь-якими некритичними навантаженнями, які є випадковими або такими, що не можуть бути відокремленими).
- ✓ Необхідно провести аналіз профілю навантаження у звичайні та пікові періоди, щоб переконатися в наявності достатніх потужностей для генерування та підтримання навантаження.
- ✓ Аналіз навантаження повинен враховувати ступінчасті навантаження, високонелінійні навантаження, навантаження двигунів та значні індуктивні навантаження, а також прогнозовані та фактичні або тестові вимоги в острівному режимі.
- ✓ Аналіз навантаження повинен проводитися як для підключених до мережі, так і для автономних режимів.
- ✓ Особливо в сценаріях мікромереж із великою кількістю ВДЕ, адаптивна межа мікромережі допоможе розширити межі мікромережі в години з високим рівнем доступності ВДЕ.
- Скидання навантаження шляхом перемикавання трансформатора або фідера є ключовим інструментом для максимізації електропостачання більш пріоритетних навантажень.
- Аналіз повинен включати варіанти активного управління навантаженням і скидання навантаження для максимізації електропостачання критичних навантажень в автономних режимах.
- План скидання навантаження повинен враховувати критерії рівня критичності та план відновлення електропостачання для підтримки рівня стійкості, необхідної для життєво важливих об'єктів регіону.
- Скидання навантаження може бути реалізовано шляхом послідовного відновлення на вимикачах підстанції або шляхом частотного розвантаження.
- Для випадків із номінальним некритичним навантаженням (або навантаженням, яке важко відокремити) проєктувальники повинні оцінити економічну ефективність встановлення додаткового розподільчого пристрою для скидання навантаження або граничної вартістю додаткової генерації та пропускною спроможністю системи, необхідною для підтримки таких навантажень.

Визначення меж мікромережі як резервний варіант основної мережі



Визначення критичних та некритичних навантажень

Почніть із визначення та класифікації критичних і некритичних електричних навантажень на ділянці розподільчої мережі, яка була обрана як регіон-кандидат.

Це включає оцінку попиту на електроенергію для кожного трансформатора та фідера, щоб зрозуміти їхні потреби в електроенергії та критичність із погляду доступу до безперебійного постачання.

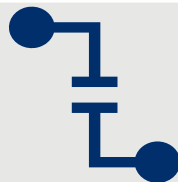


Оцінка наявних можливостей мережі та генерації

Проаналізуйте наявну електроенергетичну систему, включно з генеруванням та системами розподілу.

Оцініть розташування наявних генераторів, систем зберігання та резервних вимикачів.

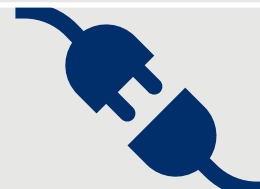
Ця оцінка допомагає ефективно використовувати наявні компоненти, мінімізуючи потребу в новому будівництві та зменшуючи витрати.



Визначення оптимальних точок ізоляції мікромережі

Оберіть електричні точки перемикачів на основі розташування критичних навантажень, наявної мережі та генерування.

Вибір точок перемикачів має бути спрямований на включення всіх критичних навантажень у мікромережу, враховуючи при цьому економічну ефективність інтеграції або від'єднання певних некритичних навантажень, виходячи з їхнього географічного розосередження та можливості підключення.



Включення нових джерел генерації

Визначте межі для включення нових джерел генерування або накопичення енергії, запланованих для мікромережі.

Фізичні та електричні точки приєднання цих нових джерел повинні відповідати загальному проекту для оптимізації ефективності операційної діяльності та стійкості мікромережі.

Визначення потреб мікромережі в електроенергії для режимів ізольованого та централізованого електропостачання

Проектування мікромереж передбачає прийняття важливих рішень у багатьох аспектах, включаючи покриття навантаження (від лише критичного до повного), тривалість роботи (від 2 годин до невизначеного часу), розподілені енергетичні джерела (DER) (різні комбінації фотоелектричних (PV), акумуляторних систем зберігання енергії (BESS), дизелю та газу), топологію генерування (від централізованого до ізольованого), управління межами (статичне або динамічне), стратегії управління (від централізованого до розподіленого), а також способи перемикання (від ручного до автоматичного). Ці ключові аспекти дозволяють розробляти індивідуальні проекти, які забезпечують баланс між вартістю, стійкістю, ефективністю та гнучкістю для реалізації конкретних операційних потреб та обмежень.

КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ	ВАРІАНТИ				
Розмірність/споживання мікромережі	Лише критичні навантаження	Критичні + некритичні навантаження	Лише денні навантаження	Повне навантаження (день та ніч)	
Очікувана тривалість роботи мікромережі в автономному режимі	2 години	8 годин	24 години	1 місяць	Невизначений термін
Розподілені джерела енергії: тип/джерело	Сонячні PV + BESS	Дизель + BESS	Газогенераторна установка + BESS	Сонце + дизель + газ	Сонячні PV + газогенераторна установка
Топологія генерування	Централізована	Децентралізована	Гібридна	Модульна	Мобільна
Управління межами мікромереж	Статичне/визначене	Динамічне/адаптивне			
Стратегії управління	Централізоване	Децентралізоване	Розосереджене		
Перемикання мікромережі	Ручне перемикання на місці	Ручне перемикання через телеуправління	Автономне /гарячий режим очікування	Запрограмований час	

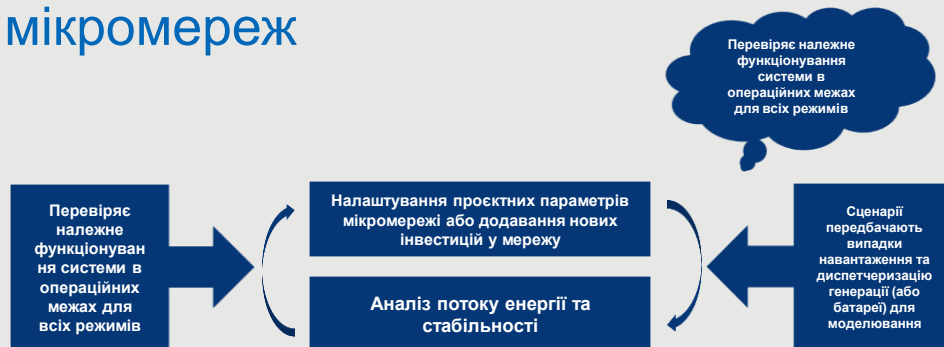
Планування виробітку електроенергії та співставлення виробітку зі споживанням

Рівень ВДЕ в мікромережі	Операційні характеристики	Внесок ВДЕ до пікового навантаження	Внесок ВДЕ до річного обсягу енергії	Сталість рішення
Низький	<ul style="list-style-type: none"> - Диспетчеризоване генерування працює постійно - Відновлювані джерела енергії зменшують загальне навантаження на диспетчеризоване генерування - Вся відновлювана енергія йде безпосередньо на навантаження - Система управління, як правило, відсутня 	Менше 30%	Менше 20%	Висока, багато прикладів у великому та малому масштабі
Середній	<ul style="list-style-type: none"> - Диспетчеризоване генерування працює майже постійно - Відновлювані джерела енергії зменшують загальне навантаження на диспетчеризоване генерування - Приєднується додаткове навантаження або відновлювана енергія обмежується при високих частках - Зазвичай необхідна базова система управління 	30%-75%	20%-50%	Висока, багато прикладів у великому та малому масштабі
Високий (зі зберіганням енергії)	<ul style="list-style-type: none"> - Відновлювана енергія та накопичувачі можуть жити навантаження без генераторів змінного струму - Генератори змінного струму використовуються в основному для зарядки накопичувачів у періоди низького генерування відновлюваної енергії - Необхідна мінімальна базова система управління - Відновлюване генерування може перевищувати пікові навантаження, а надлишкова енергія зберігається 	50%-100%	50%-100%	Висока, переважно в невеликих масштабах
Високий (без зберігання енергії)	<ul style="list-style-type: none"> - Генератори змінного струму можна відключити або зарезервувати, коли ВДЕ покриває навантаження - Додаткові компоненти необхідні для забезпечення якості електроенергії, коли генератор не працює - Потребує складної системи управління 	50%-100%	50%-100%	Від низької до середньої, мало прикладів, переважно невеликого масштабу

Моделювання та аналіз режимів роботи мереж для перевірки сценаріїв роботи мікромереж

Моделювання має вирішальне значення для забезпечення якості електроенергії та стабільності системи, коли мікромережі працюють в ізольованому режимі. Ці моделі виходять за рамки можливостей таких інструментів, як «Reopt» або «HOMER», і підтримують детальний аналіз, необхідний для ефективного проектування та експлуатації мікромереж.

На основі зібраних даних повинна бути розроблена цифрова модель мікромережі. Ця модель дозволяє моделювати та візуалізувати роботу мікромережі за різних сценаріїв, що значно полегшує планування та проектування.



Аналітичні дослідження:

- Аналіз усталеного режиму та поточкорозподілу: оцініть поведінку мікромережі за нормальних умов експлуатації, щоб переконатися, що вона може ефективно задовольняти попит на енергію та підтримувати стабільність.
- Квазидинамічний аналіз: ґрунтується на аналізі усталеного режиму та поточкорозподілу, враховуючи тимчасові коливання, що має вирішальне значення для інтеграції некерованих джерел відновлюваної енергії.
- Розрахунок струмів короткого замикання: зосереджується на оцінці стійкості мікромережі шляхом визначення впливу пошкоджень, таких як коротке замикання. Визначає максимально можливі струми короткого замикання, що є визначним для вибору відповідного захисного обладнання та розробки стратегій управління відключення пошкоджень.
- Аналіз стабільності напруги: вивчає здатність мікромережі підтримувати стабільний рівень напруги за різних умов. Виявляє потенційні проблеми, які можуть призвести до нестабільності або падіння напруги, забезпечуючи надійну роботу мікромережі навіть під час різких змін навантаження або генерації.
- Захисти та координація струмів короткого замикання:
 - Режим централізованого електропостачання: мережа значно впливає на величину струму короткого замикання.
 - Острівний режим: величина струму короткого замикання обмежується, що вимагає скоригованих налаштувань захистів для забезпечення координації струмів короткого замикання та чутливості.
 - Координація струмів короткого замикання: важливе для визначення відповідних налаштувань захистів як у режимах централізованого електропостачання, так і для острівних режимів на основі аналізу струмів короткого замикання.

Вибір систем телеметрії/телеуправління та системи управління мікромережами

Вибір ефективної системи управління мікромережами (MGMS), інтегрованої зі SCADA, включає передові методи комунікації, управління та оптимізації для забезпечення ефективної та надійної роботи. Нижче наведено узагальнений підхід:

- **Інтеграція зі SCADA:** MGMS покладається на SCADA для збору, моніторингу та обробки даних у режимі реального часу з усіх компонентів мікромережі, що дозволяє динамічно управляти та приймати оперативні рішення.
- **Архітектура зв'язку:** використовує оптоволокно, радіочастотні (РЧ) та стільникові технології для швидкого, надійного обміну даними, підтримуючи централізовані та розподілені стратегії управління.
- **Контроль та оптимізація:** включає алгоритми прогнозування та методи оптимізації для ефективної диспетчеризації енергоресурсів, зниження витрат і підтримки стабільності системи.
- **Енергетичний менеджмент:** збалансовує попит і пропозицію, інтегруючи моніторинг потоків енергії в реальному часі, управління сховищами та управління попитом для оптимізації використання відновлюваної енергії.
- **Інтерфейс «людина-машина» (HMI):** забезпечує інтуїтивно зрозумілий доступ до моніторингу системи, функцій управління та аналітичних даних для швидкого прийняття поінформованих рішень.
- **Операційні стратегії:** включають детальні стратегії щодо можливостей «холодного пуску», управління навантаженням та оптимізації інтеграції відновлюваних джерел енергії та систем зберігання.
- **Управління PV та BESS:** керує фотоелектричною генерацією та акумуляторними батареями для максимальної ефективності, включаючи протоколи для обмеження генерації та оптимізованого заряджання/розряджання.
- **Управління навантаженням:** впроваджує протоколи відключення та повторного підключення навантаження, щоб збалансувати систему під час пікових навантажень або пошкоджень.
- **Управління генераторними установками:** забезпечує оптимальну роботу генеруючих установок у мікромережі, сприяючи стабільності та ефективності системи.
- **Координація та контроль:** визначає підходи до координації та контролю на основі архітектури мікромереж, враховуючи синхронізовані або ізольовані операції та ієрархічні схеми управління.
- **Схема захисту:** адаптує схеми захисту для острівних мікромережових систем, перераховуючи струми короткого замикання та налаштовуючи реле захисту для нових режимів роботи.



Оцінка вартості мікромереж

Оцінка CAPEX для компонентів мікромереж:

- **Системи зберігання та генерації енергії:**
 - **BESS:** включає витрати на батареї, системи управління батареями та встановлення. Відіграє вирішальну роль у перерозподілі енергії та управлінні піковими навантаженнями.
 - **Газові та дизельні генератори:** враховує вартість генераторів, монтажу та будь-якого необхідного допоміжного обладнання, такого як системи вихлопу та зберігання палива.
 - **Фотоелектричні (PV) системи:** оцінка витрат на сонячні панелі, монтажні конструкції, інвертори та інтеграцію в наявну мережу.
- **Компоненти систем розподілу:**
 - **Розподільні пристрої та реклоузери:** необхідні для захисту від короткого замикання та ізоляції пошкоджень у мікромережі, включаючи витрати на обладнання та монтаж.
 - **Розподільні трансформатори та підстанції:** ключовий фактор для регулювання рівня напруги відповідно до вимог навантаження, включаючи витрати на придбання та встановлення.
- **Системи управління:**
 - **Системи SCADA:** включають вартість необхідного апаратного та програмного забезпечення для моніторингу та управління системою в реальному часі.
 - **MGMS:** включають витрати на сучасне програмне забезпечення для управління та необхідну обчислювальну інфраструктуру.

Кроки оцінки CAPEX:

- **Детальний список компонентів:** створіть детальний список усіх необхідних компонентів на основі архітектурних та функціональних специфікацій мікромережі.
- **Ринкове ціноутворення:**
 - Отримайте поточні ринкові ціни на кожен компонент. Для цього може знадобитися зв'язатися з кількома постачальниками, щоб отримати конкурентні пропозиції або котирування.
 - Включіть витрати на будь-які спеціальні компоненти або спеціалізовані технології, які можуть знадобитися для задоволення унікальних вимог мікромережі.
- **Вартість встановлення та інтеграції:**
 - Оцініть трудовитрати, пов'язані з установкою кожного компонента, включаючи робочу силу для фізичної установки, електричної інтеграції та тестування системи.
 - Врахуйте витрати на інтеграцію нових компонентів із наявною інфраструктурою, для чого може знадобитися додаткове обладнання або модифікації.
- **Отримання дозволів та дотримання вимог:**
 - Включає витрати, пов'язані з отриманням дозволів та забезпеченням відповідності місцевим і національним нормам. Це може включати екологічну оцінку.

Економічне порівняння проєктних рішень

Порівняти конфігурації мікромереж, розрахувавши їхню приведену вартість енергії (LCOE) та обравши найбільш економічно ефективний варіант.

Кроки:

- **Визначити сценарії:** визначити різні сценарії проєктування мікромережі, такі як:
 - Сценарій 1: Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) + акумуляторні системи зберігання енергії (BESS)
 - Сценарій 2: Тільки газовий двигун
 - Сценарій 3: Газ + ВДЕ
 - Сценарій 4: Газ + ВДЕ + BESS
- **Визначити компоненти витрат: розділіть витрати на CAPEX та OPEX.**
- **Розрахувати поточну вартість витрат (PVal):**
 - Використовувати ставку дисконтування для розрахунку поточної вартості CAPEX та OPEX протягом усього терміну реалізації проєкту.
 - Поточна вартість CAPEX (PVal_CAPEX) – це сума всіх початкових капітальних витрат.
 - Поточна вартість OPEX (PVal_OPEX) – це сума щорічних OPEX, нарахованих протягом усього терміну реалізації проєкту.
- **Розрахувати поточну вартість виробництва енергії:**
 - Визначити поточну вартість загального обсягу енергії, виробленої протягом терміну дії проєкту.
 - Поточна вартість виробництва енергії (PVal_Energy) – це сума річних обсягів виробництва енергії, накопичених протягом терміну дії проєкту.
- **Розрахувати LCOE для кожного сценарію:**
 - Розрахувати LCOE шляхом ділення загальної поточної вартості витрат на загальну поточну вартість виробництва енергії:
$$\text{LCOE} = (\text{PVal_CAPEX} + \text{PVal_OPEX}) / \text{PVal_Energy}$$
- **Порівняти сценарії:**
 - Порівняти значення LCOE для різних сценаріїв.
 - Сценарій з найнижчим значенням LCOE, як правило, є найбільш економічно ефективним варіантом протягом терміну реалізації проєкту.

Підхід через порівняння LCOE для альтернативних проєктних варіантів

Типова порівняльна таблиця результатів (числа є лише ілюстративними, щоб показати структуру таблиці)

Стаття витрат	ВДЕ + BESS	Лише газовий двигун	Газ + ВДЕ	Газ + ВДЕ + BESS
CAPEX				
Мережа (\$)	200	200	200	200
Нові розподілені енергоресурси (\$)	1,000,000	0	500	500
Диспетчеризована генерація (\$)	0	600	600	600
Компоненти мережі (\$)	500	100	100	500
Системи управління (\$)	300	100	100	300
OPEX (за рік)				
Мережа (\$)	20	20	20	20
Нові розподілені енергоресурси (\$)	30	0	20	20
Диспетчеризована генерація (\$)	0	50	50	50
Компоненти мережі (\$)	50	10	10	50
Системи управління (\$)	40	10	20	40
Паливо (\$)	0	200	150	150
BESS (\$)	200	0	0	200
Вартість втраченого навантаження (VOLL) (\$)	20	50	30	20
Виробництво енергії				
Річне (кВт-год/рік)	1500000	1000000	1200000	1500000
Весь термін реалізації проєкту (роки)	20	20	20	20
LCOE (\$/кВт-год)	0,410	0,580	0,520	0,540

— ДЯКУЄМО!

Проект
Енергетичної
Безпеки

КОНТАКТИ В USAID УКРАЇНА

Для отримання опублікованого звіту та додаткової інформації, будь ласка, звертайтеся до Кетлін Кірш (Kathleen Kirsch) за адресою: kkirsch@usaid.gov.

Цей документ став можливим завдяки підтримці американського народу через Агентство США з міжнародного розвитку (USAID).

Tetra Tech ES, Inc. несе повну відповідальність за зміст цього документу.

Викладений зміст не обов'язково відображає позицію USAID або Уряду Сполучених Штатів.

Цей документ було підготовлено компанією Tetra Tech ES, Inc., яка є контрактором USAID для Проєкту енергетичної безпеки (ПЕБ), договір USAID №72012118C00003.

