

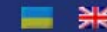


# Розвиток розподіленої енергетики в Україні з використанням технологій мікромереж



Національна академія наук України

Інститут  
електродинаміки



доктор техн. наук, проф.  
**Ігор БЛІНОВ**



Сьогодні в Україні структура потужностей генерації електроенергії зазнає істотних змін, що пов'язане з руйнуванням електроенергетичної інфраструктури внаслідок бойових дій, а також завдяки значному збільшенню частки відновлюваних джерел енергії в її загальному балансі, що обумовлює необхідність розвитку розподіленої енергетики шляхом відповідної перебудови мережевої інфраструктури на основі сучасних технологій «розумних мереж» та забезпечення гарантованого електропостачання об'єктів критичної інфраструктури.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України (від 18 липня 2024 р. № 713-р ) схвалено Стратегію розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затверджено операційний план заходів з її реалізації у 2024 - 2026 роках.

Основною метою стратегії є посилення стійкості ОЕС України в умовах триваючої воєнної агресії, усунення недостатності генеруючих потужностей, виконання вимог щодо забезпечення безпеки постачання електричної енергії споживачам та операційної безпеки шляхом створення сприятливих умов для забезпечення розвитку розподіленої генерації.

Вирішення частини поставлених Урядом України в цій сфері завдань полягає у застосуванні комбінованого підходу, який передбачає у разі необхідності виділяти частину мережі в ізолюваний (острівний) режим навколо розподіленої генерації, з автоматичним підтриманням основних параметрів мережі.



В Україні активно реалізуються процеси впровадження в сферу електроенергетики нових технологій, які істотно впливають, в першу чергу, на розподільні електричні мережі, переводячи їх на новий якісний рівень розвитку і функціонування.

У 2022 році Урядом схвалено Концепцію впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року та затверджено деталізований план заходів з її реалізації.

Важливим аспектом розвитку «розумних мереж» є формування відповідних умов, стимулів, мотивацій, попиту та потреб побудови та експлуатації мікромереж, що є основою для впровадження пілотних проєктів із застосуванням цієї технології для різних типів користувачів, залучення органів місцевого самоврядування та операторів систем розподілу.

Указ Президента України №737/2023 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 7 листопада 2023 року «Щодо додаткових заходів із посилення стійкості функціонування енергетичної системи та підготовки національної економіки до роботи в осінньо-зимовий період 2023/24 року» передбачав терміновий аналіз чинних законодавчих актів з метою внесення законодавчих змін, необхідних для створення та функціонування в громадах мікромереж, що стало передумовою прийняття в Україні відповідних міжнародних стандартів.



### Закон України «Про ринок електричної енергії»:

**Мікромережа** – група взаємопов'язаних навантажень і розподіленої генерації із визначеними електричними межами, що утворюють локальну електроенергетичну систему на рівні системи розподілу електричної енергії, яка діє як єдиний керований об'єкт і здатна працювати паралельно з об'єднаною енергетичною системою України або в острівному (ізолюваному) режимі мікромережі.

**Користувач мікромережі** – фізична та/або юридична особа, яка відпускає (постачає) електричну енергію або отримує електричну енергію через мікромережу.

### Закон України «Про енергетичну ефективність»:

**Система енергетичного менеджменту мікромережі** – система забезпечення функціонування та керування навантаженнями і розподіленою генерацією мікромережі.

# Стандартизація в сфері "розумних мереж" та мікромереж в Україні



## Стандарт IEC TR 63097:2017 Smart grid standardization roadmap (Дорожня карта зі стандартизації).

## Багаточастинний стандарт IEC TS 62898 Microgrids (Мікромережі).

### План заходів щодо впровадження сучасних європейських та міжнародних стандартів у сфері розвитку «розумних мереж» до 2035 року



МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

#### НАКАЗ

м. Київ

*Про затвердження Плану заходів щодо впровадження сучасних європейських та міжнародних стандартів у сфері розвитку «розумних мереж» до 2035 року*

Відповідно до статті 15 Закону України «Про енергетичну ефективність»; пункту 5 Плану заходів щодо реалізації Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2022 року № 908-р; з метою створення умов для розвитку нормативного забезпечення підвищення ефективності впровадження та подальшої роботи «розумних мереж»

#### НАКАЗУЮ:

1. Затвердити План заходів щодо впровадження сучасних європейських та міжнародних стандартів у сфері розвитку «розумних мереж» до 2035 року, що додається.

2. Контроль за виконанням цього наказу покласти на заступника Міністра ГРИНЧУК Світлану.

Міністр

Герман ГАЛУЩЕНКО

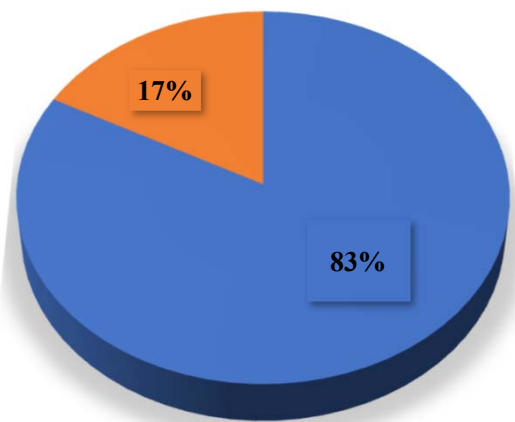
№ з/п	Найменування заходів	Відповідальні за виконання	Строк виконання	Індикатор виконання
1	2	3	4	5
1	Прийняття міжнародного стандарту IEC 63097 як національного з додаванням робочого перекладу для застосування як базового документа у питанні нормативного забезпечення розвитку «розумних мереж».	НЕК «Укренерго», ІЕД НАН України (за згодою), ДП «УкрНДНЦ» (за згодою).	Протягом 2024 року	Прийнято національний стандарт.
9	Прийняття міжнародних стандартів, що охоплюють середовище «мікромереж» (Microgrid), децентралізованих електроенергетичних систем, віртуальних електростанцій як національних: багаточастинні стандарти IEC TS 62898, IEC TR 63410, IEC TS 63189. Метод прийняття: згідно з поданням відповідного технічного комітету стандартизації України.	НЕК «Укренерго», ДП «УкрНДНЦ» (за згодою), Міненерго, оператори систем розподілу (за згодою), ІЕД НАН України (за згодою).	Протягом 2024–2028 років	Прийнято національні стандарти, які включені до програми робіт з національної стандартизації на відповідний рік щодо прийняття нових європейських та міжнародних стандартів, змін до них згідно з вимогами ДСТУ 1.8:2022.



## Впроваджені стандарти в сфері «розумних мереж»

Технічний комітет стандартизації №162  
"Керування енергетичними системами та пов'язані з ним процеси  
інформаційної взаємодії"

2023-10-02 ТК 162 КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ  
ВАЖЛИВО:© Авторське право належить IEC, Женева, Швейцарія  
Всі права захищені. Копія зроблена SE "UkrNDNC" за ліцензією IEC



■ Чинні ■ Не впроваджені

Серія міжнародних стандартів	Область основного застосування стандарту
IEC 61970/ IEC 61968	Інтерфейс прикладних програм у системах електроенергетичного менеджменту (EMS-API); Інтеграція прикладних програм на електромережних підприємствах;
IEC 62325	Інфраструктура комунікацій на енергетичному ринку
IEC 61850	Комунікаційні мережі та системи для автоматизації електроенергетичних підприємств
IEC 62056	Протоколи обміну даними приладів обліку електроенергії.
IEC 62351	Керування енергетичними системами та пов'язаний з ним інформаційний обмін





## IEC TS 62898 Microgrids

На замовлення Міністерства енергетики України Інститутом електродинаміки НАН України та Технічним комітетом стандартизації ТК 162 розроблено проекти національних нормативних документів у галузі мікромереж на основі відповідних міжнародних стандартів щодо технічних вимог та вимог до експлуатації мікромереж, систем енергоменеджменту, моніторингу та керування мікромережами, саморегулювання навантажень в них:

- IEC TS 62898-2: 2018+AMD 1: 2023 Microgrids - Part 2: Guidelines for operation (Мікромережі - Частина 2: Інструкції з експлуатації);
- IEC TS 62898-3-1: 2020 + AMD 1: 2023 Microgrids - Part 3-1: Technical requirements - Protection and dynamic control (Мікромережі. Частина 3-1. Технічні вимоги. Захист і динамічний контроль);
- IEC TS 62898-3-2:2024 Microgrids - Part 3-2: Technical requirements - Energy management systems (Мікромережі. Частина 3-2. Технічні вимоги. Системи енергоменеджменту);
- IEC TS 62898-3-3: 2023 Microgrids - Part 3-3: Technical requirements - Self-regulation of dispatchable loads (Мікромережі. Частина 3-3. Технічні вимоги. Саморегулювання диспетчеризованих навантажень);
- IEC TS 62898-3-4: 2023 Microgrids - Part 3-4: Technical requirements - Microgrid monitoring and control systems (Мікромережі. Частина 3-4. Технічні вимоги. Системи моніторингу та керування мікромережами.

Також ТК 162 (базова організація – Інститут електродинаміки НАН України) виконані роботи з прийняття двох стандартів в сфері мікромереж на замовлення НЕК «Укренерго»:

- IEC TS 62898-1: 2017/AMD 1: 2023 Microgrids – Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification (Мікромережі – Частина 1: Рекомендації щодо планування та специфікації проектів мікромереж)
- IEC TS 62898-4: 2023 Microgrids - Part 4: Use cases (Мікромережі. - Частина 4: Варіанти використання)



## Основні сценарії використання мікромереж для розвитку розподіленої енергетики

- **Мікромережі, структура яких спрямована на підвищення надійності та забезпечення безперервності енергопостачання приєднаного навантаження або його частини за допомогою можливості роботи в острівному режимі.** В цьому випадку мікромережа може бути, наприклад, частиною мережі розподілу загальної призначеності, що обслуговує широке коло споживачів, або мікромережею окремого об'єкта, наприклад державної або комерційної структури, військової бази, лікарні.

- **Мікромережі, структура яких спрямована на зниження витрат у випадку забезпечення електроенергією віддалених районів, для яких організація надійного централізованого електропостачання є надто витратним.** Як приклад, ізольовані мікромережі для електропостачання об'єктів в сільській місцевості.

- **Мікромережі, структура яких спрямована на зниження витрат на електроенергію для їх користувачів шляхом оптимального використання власних активів таких (відновлювані джерела та установки зберігання енергії, диспетчеризоване навантаження та генератори);**

- **Мікромережі, структура яких спрямована на забезпечення стійкості електропостачання до стихійних лих або пошкоджень енергетичної інфраструктури шляхом оптимального використання власних активів.** Мікромережі такого типу доцільно будувати в районах, де часто спостерігаються особливі умови роботи, здатні суттєво вплинути на якість електропостачання, або для покращення показників надійності електропостачання для об'єктів критичної інфраструктури тощо.

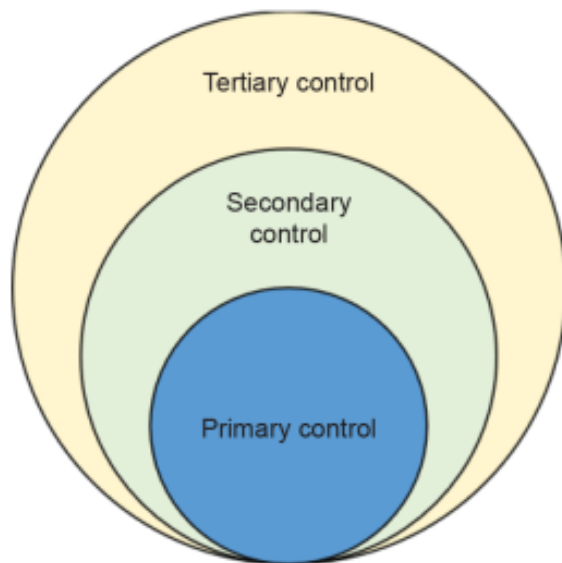


# Режими функціонування та рівні керування мікромереж з розподіленою генерацією



Мікромережі можуть виступати в якості керованих вузлів електроенергетичної системи і працювати в двох режимах:

- режим паралельної роботи з зовнішньою мережею електропостачання (системою розподілу);
- острівний режим з живленням від власних джерел енергії.



Оптимізація функціонування мікромереж на рівні систем розподілу електричної енергії

Регулювання частоти та активної потужності  
Регулювання напруги та реактивної потужності

$$f_{\text{ref}} = f_0 - K_P (P - P_0)$$

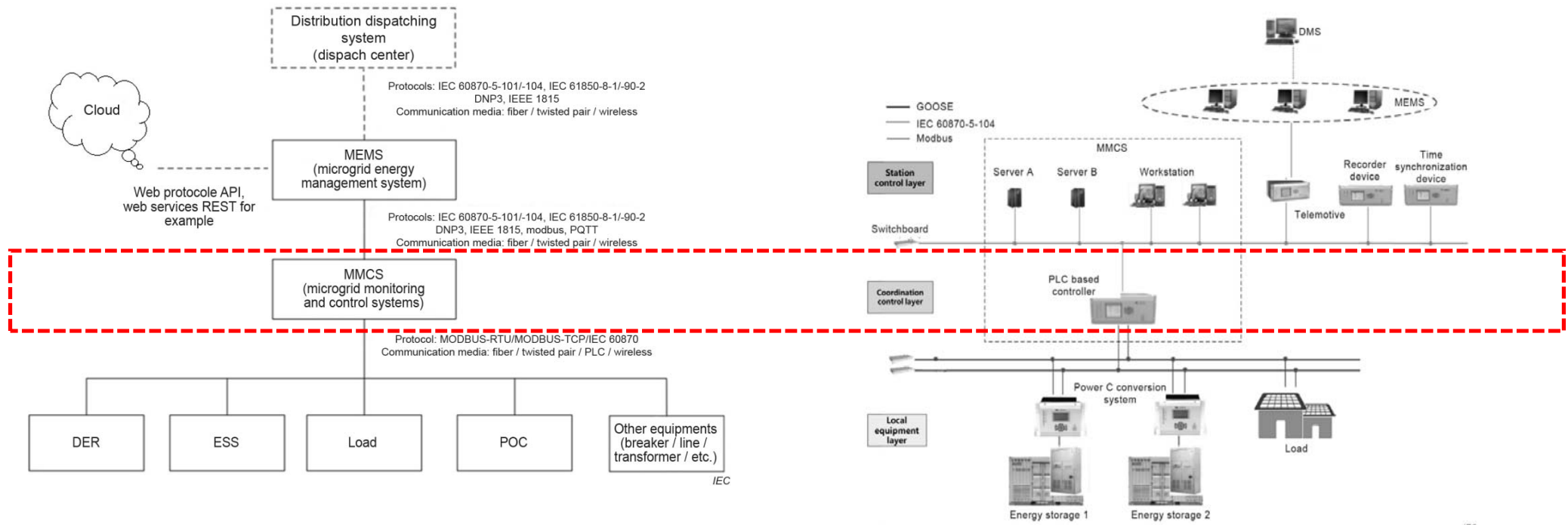
$$U_{\text{ref}} = U_0 - K_Q (Q - Q_0)$$

Регулювання відпуску електричної енергії з ВДЕ.  
Перехід до ізолюваного режиму роботи.  
Регулювання графіку споживання електричної енергії



# Системи енергетичного менеджменту та моніторингу мікромереж

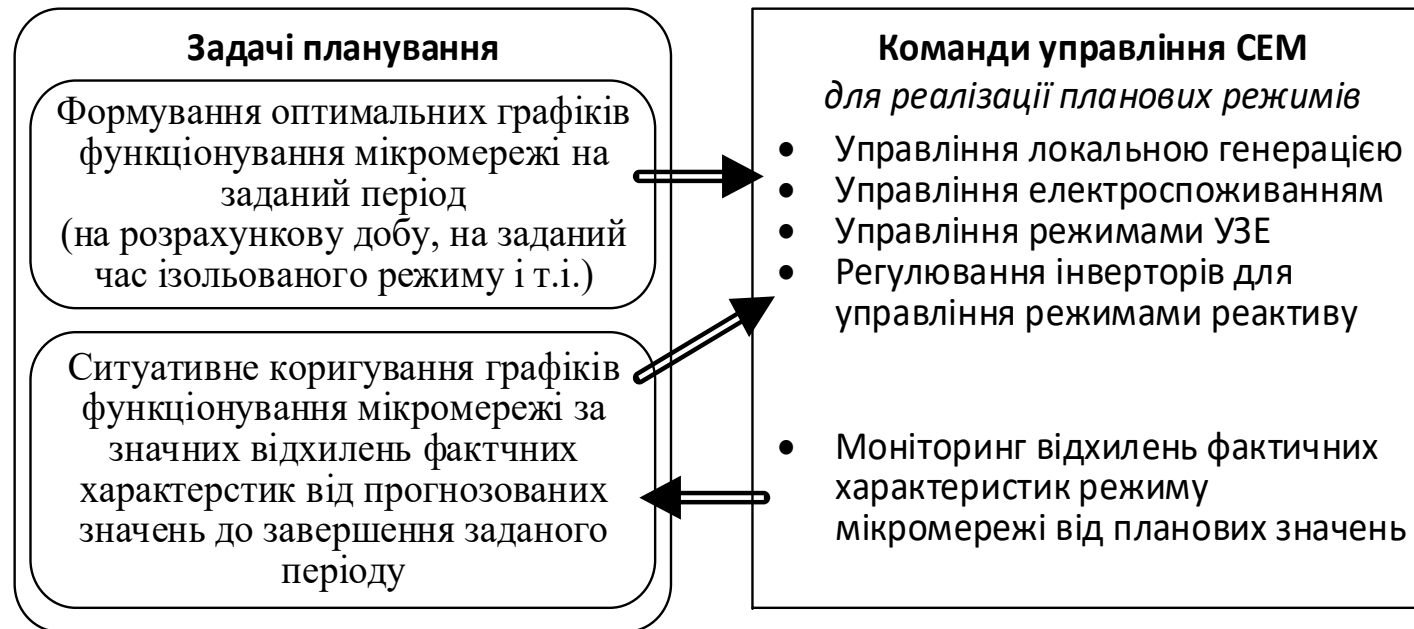
*Система енергетичного менеджменту мікромережі – система забезпечення функціонування та керування навантаженнями і розподіленою генерацією мікромережі, що реалізується на базі сучасних мікроконтролерів та систем інформаційного обміну.*





## Функції планування функціонування мікромереж

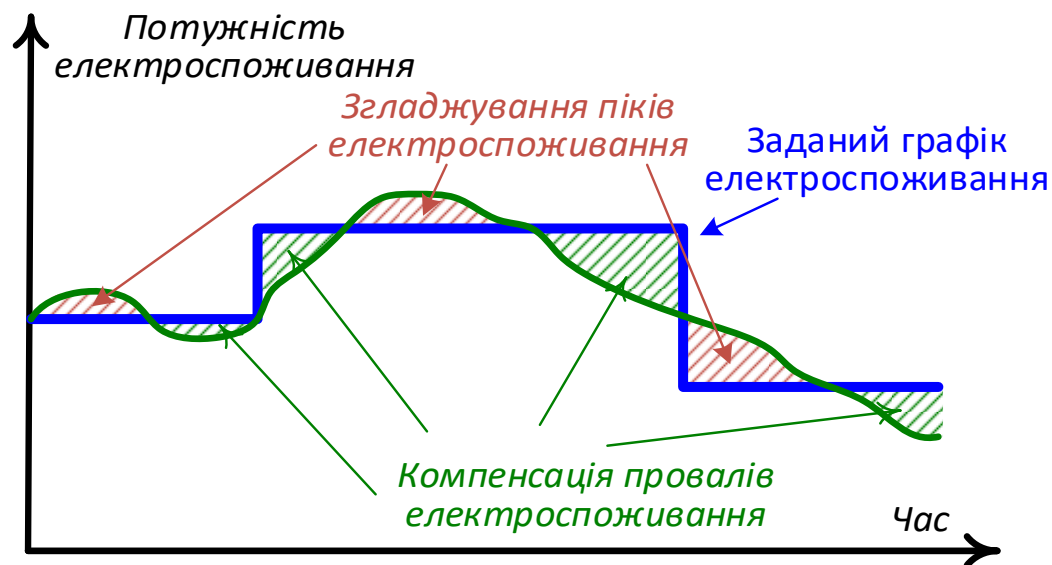
Для функцій мікромережі виокремлюються задачі планування, в яких формуються оптимальні графіки експлуатації складових мережі для досягнення заданих цілей, а також команди управління СЕМ для реалізації запланованих графіків.





## Функції системи енергетичного менеджменту мікромережі

Дотримання заданого графіка електроспоживання визначає дві основні функції системи енергетичного менеджменту.



- 1) Згладжування піків електроспоживання, якщо обсяг фактичного електроспоживання більший за плановий.
- 2) Компенсація провалів електроспоживання, якщо обсяг фактичного електроспоживання менший за плановий.

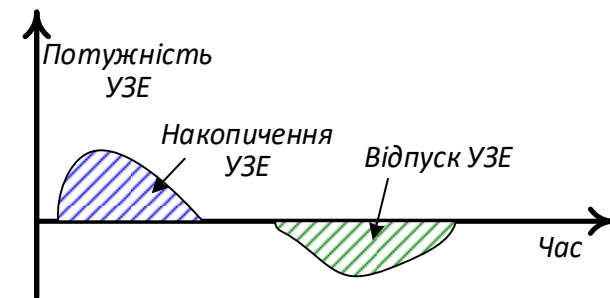
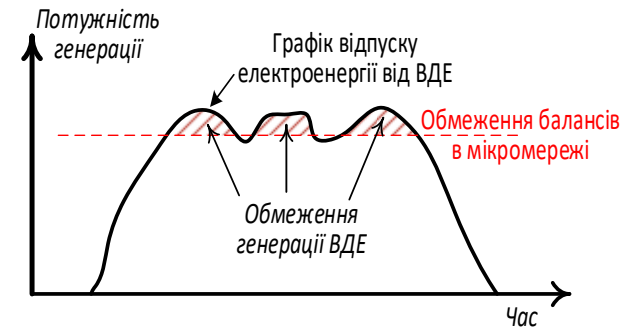
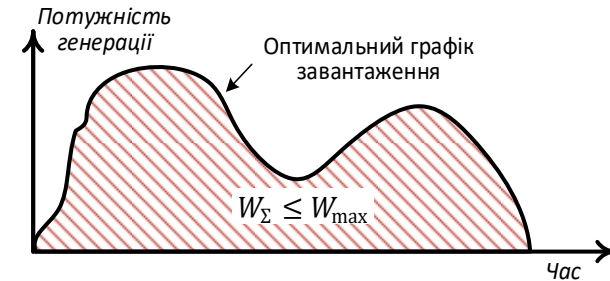
# Функції реалізації графіків роботи обладнання розподіленої енергетики в мікромережах



1. Для регульованої локальної генерації (наприклад, дизель-генератори) - на етапі планування формується оптимальний графік завантаження виходячи із обсягу наявних енергоресурсів.

2. Для нерегульованих джерел генерації (ВДЕ) команди SEM реалізують контроль профіциту генерації.

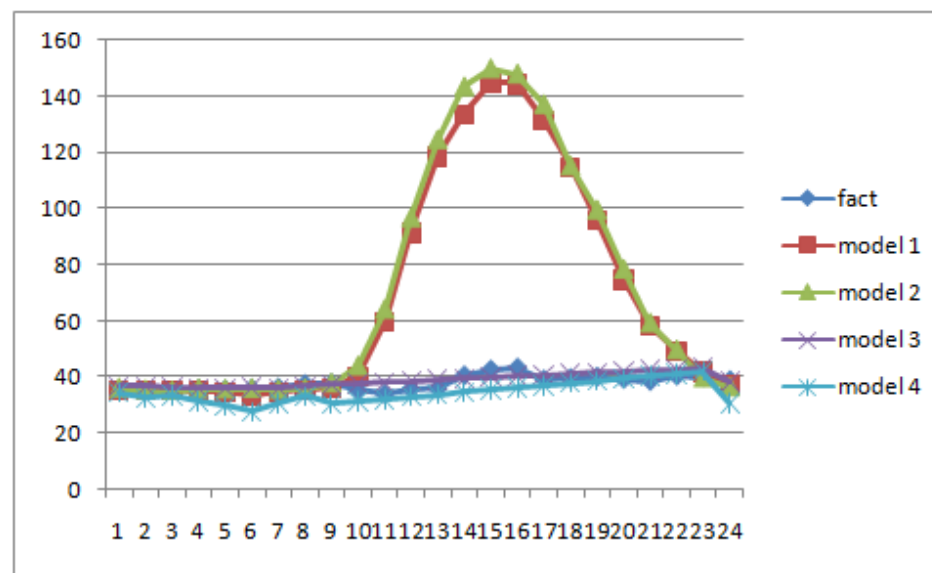
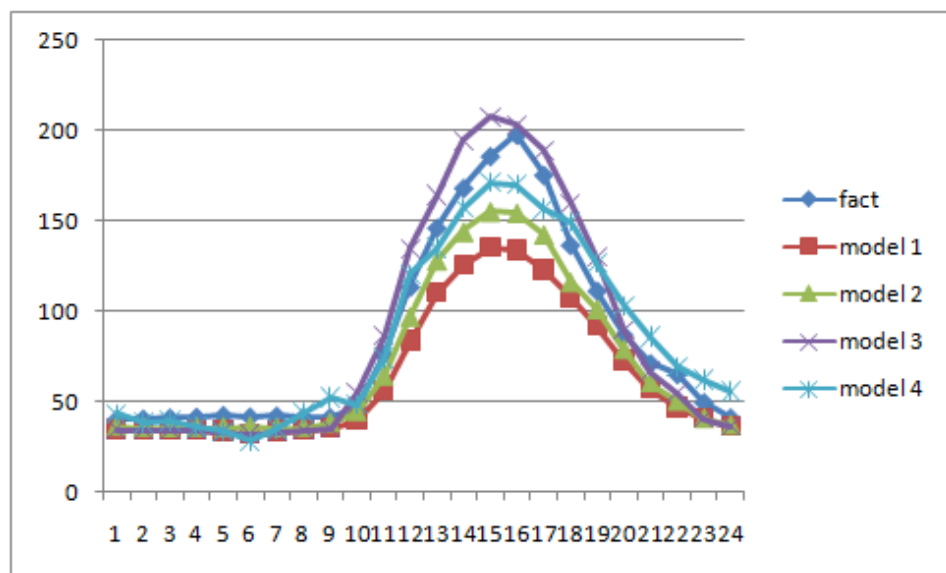
3. Особливості управління режимами установки зберігання електричної енергії зумовлюються постановкою задачі їх використання.



## Задачі прогнозування відпуску електричної енергії з ВДЕ та споживання, як основа планування функціонування мікромереж



Розроблено моделі прогнозування навантаження споживачів та відпуску електричної енергії в мікромережах із використанням засобів штучного інтелекту, зокрема штучних нейронних мереж глибокого навчання

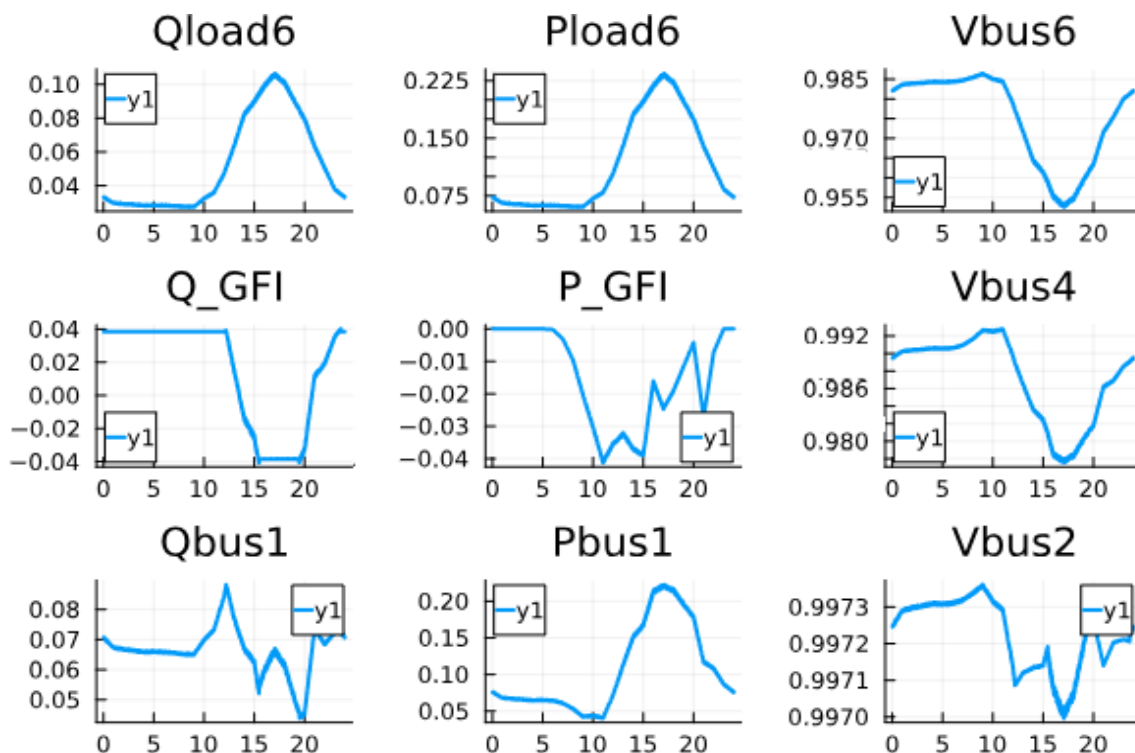
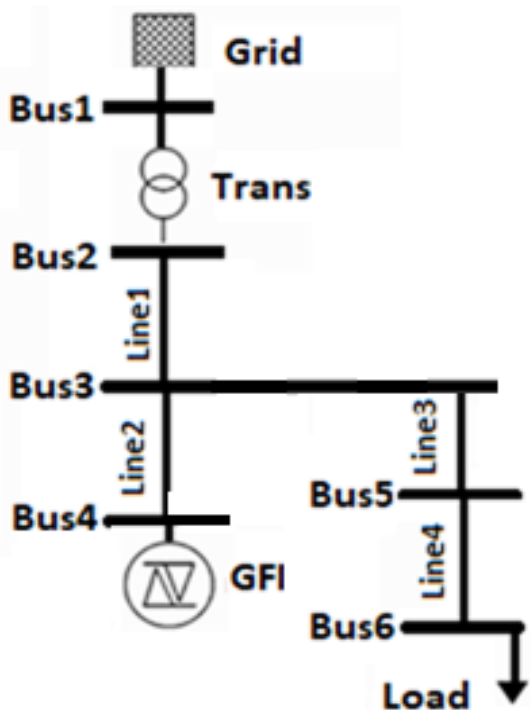




## Надання допоміжних послуг операторам систем розподіл з регулювання напруги розподіленими джерелами реактивної потужності



Запропоновано моделі регулювання напруги та реактивної потужності для підтримання належних параметрів якості електричної енергії в мікромережах за умов їх ізольованої роботи та надання послуг з регулювання реактивної потужності в нормальних умовах експлуатації з використання обладнання ВДЕ.





## Основні цілі планування функцій мікромережі

**За ізольованого режиму роботи** мікромережі основна ціль функцій СЕМ – дотримання планових обсягів електроспоживання з метою забезпечення критичних споживачів на заданий час  $h=[1..n]$ :

$$\text{Min} \left( \sum_{h=1}^n |W_h^{\text{факт}} - W_h^{\text{план}}| \right)$$

**В умовах живлення від системи розподілу** - задача дотримання заданих Оператором системи розподілу обмежень обсягів електроспоживання:

$$W_h^{\text{обм}} \geq W_h^{\text{факт}} \forall h = [1..n]$$

Ціль задачі планування графіків функціонування мікромережі полягає у мінімізації втрат підприємства, пов'язаних із обмеженням в обсягах електроспоживання:

$$\text{Min} \left( \sum_{h=1}^n (A_h^{\text{витр}}) \right)$$

**За відсутності обмежень на обсяги електроспоживання** для підприємства основна ціль оптимізації функціонування мікромережі – зменшення витрат на закупівлю електроенергії у постачальника з урахуванням витрат, пов'язаних з реалізацією функцій управління мікромережею:

$$\text{Min} \left( \sum_{h=1}^n (C_h^{\text{Пост}} \cdot W_h^{\text{Підпр}} + A_h^{\text{витр}}) \right)$$

## Бізнес-моделі використання мікромереж з розподіленою генерацією – приклад цифрової трансформації електроенергетики України



**Цифрова трансформація (digital transformation)** – зміна звичних бізнес-моделей завдяки цифровим технологіям та забезпечення нових можливостей щодо отримання доданої вартості у нових чи існуючих сегментах ринку електроенергії чи послуг.

Узагальнено цифрова трансформація може бути визначена як нове використання цифрових технологій для прискорення впровадження нових бізнес-стратегій.

Організаційні та операційні питання для досягнення цих цілей значною мірою залежать від нормативно-правової бази, зокрема від статусу мікромережі, наприклад, законодавчих можливостей для власника мікромережі виступати в ролі, як виключно споживача, так одночасно споживача та виробника електричної енергії.

Для України на рівні із іншими, характерним є випадок коли власник (або оператор мікромережі) не може відпускати в загальну систему розподілу вироблену електричну енергію з ВДЕ.

В цьому випадку графік сумарного навантаження мікромережі в кожній годині доби має відображати споживання електричної енергії з системи розподілу, але не її відпуск, або дорівнювати нулю.

Зменшення витрат у цьому випадку можливе за рахунок керування графіком споживання електричної енергії з урахуванням погодинних цін в оптовій частині ринку, платежів за передачу та розподіл електричної енергії, а також додаткових платежів постачальнику на роздрібному ринку. Реалізація цього можлива за рахунок використання систем енергетичного менеджменту мікромережі, яка в своїй основі вирішує відповідну оптимізаційну задачу.

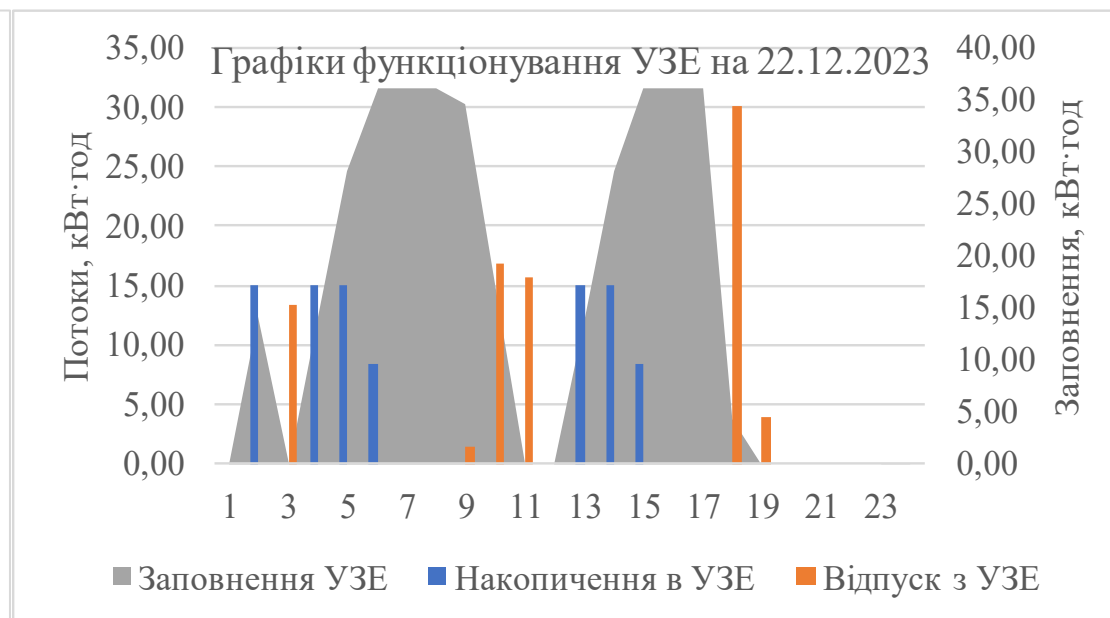
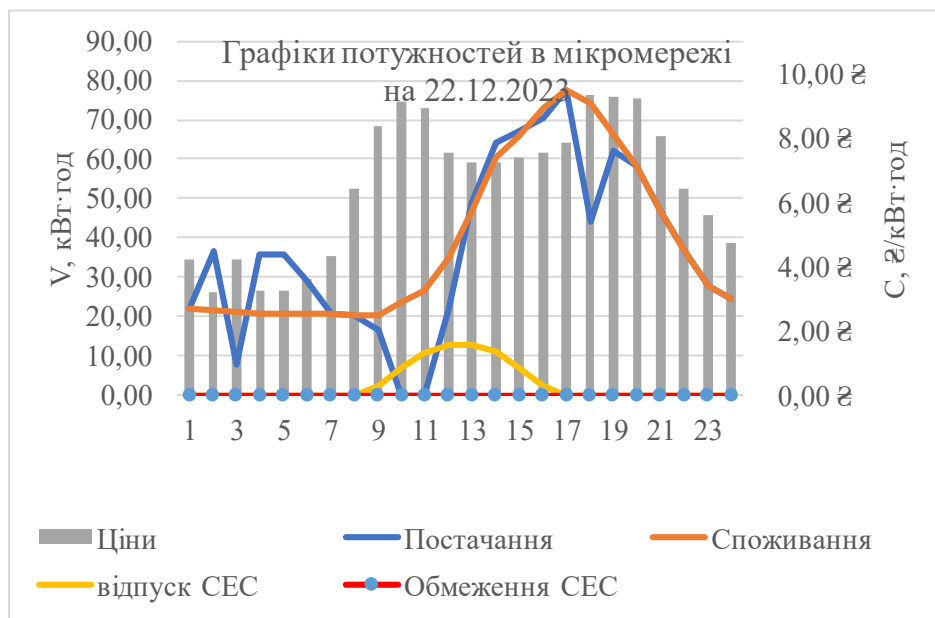
Приклад застосування мікромереж, як елементу цифрової трансформації - реалізація моделі активного споживача на роздрібному ринку електричної енергії України.



## Приклади оптимізації режимів функціонування УЗЕ в мікромережі

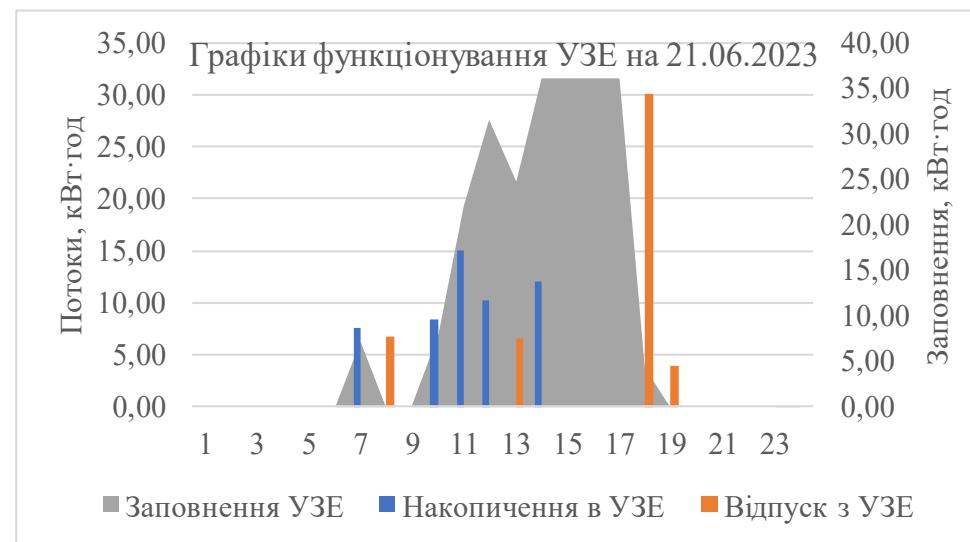
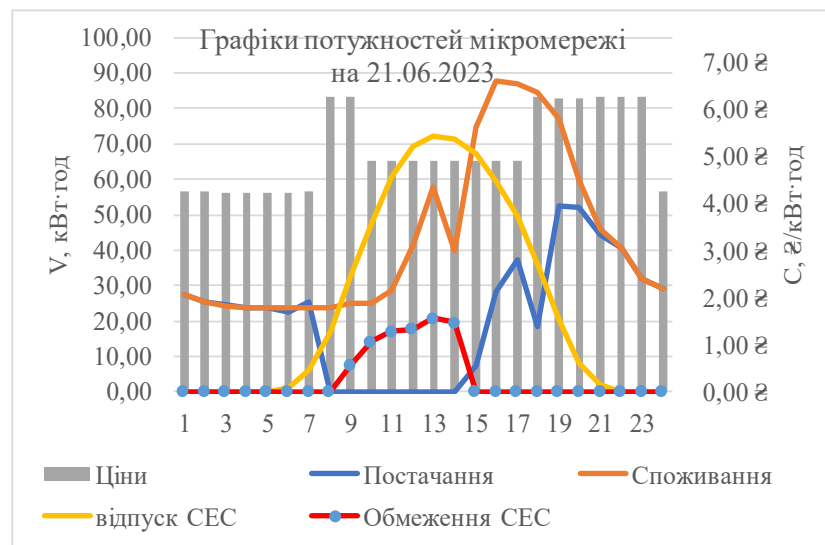
Використана ретроспективна інформація про добові графіки електроспоживання підприємства, а також статистичні дані, оприлюднені на офіційних сайтах:

- ДП «Оператор ринку»
- ДП «Гарантований покупець».





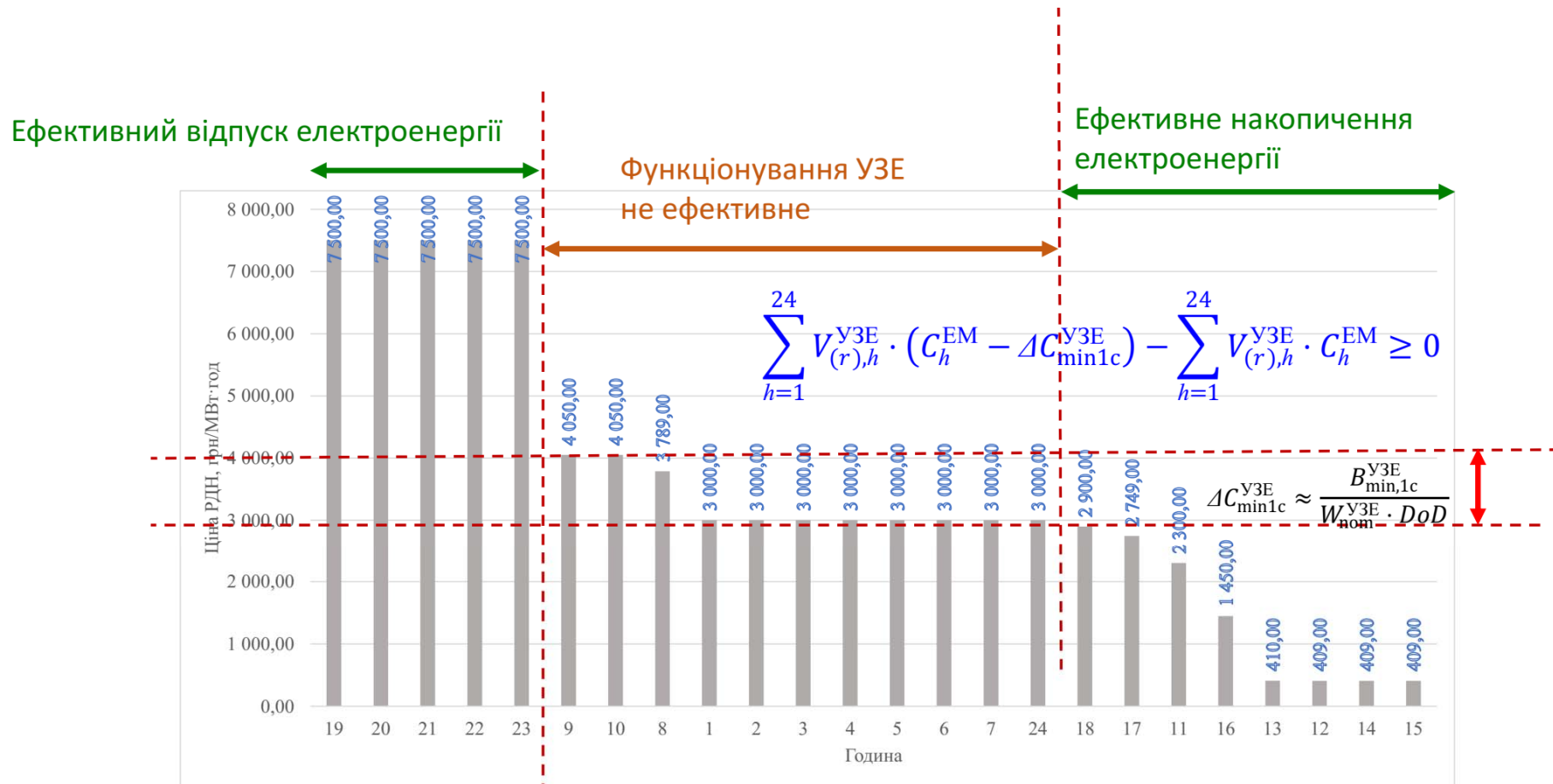
## Приклади оптимізації режимів функціонування УЗЕ в мікромережі



Доба	Зменшення вартості закупівлі електроенергії		
	СЕС (за добу)	УЗЕ (на 1 цикл)	СЕС та УЗЕ (за добу)
<b>22.12.2023</b>	518,20 € (7,72%)	185,13€	739,82 € (11,03%)
<b>21.06.2023</b>	2 506,83€ (46,17%)	<b>165,23€ &lt; 166,67€</b>	2 725,81€ (50,20%)



# Обмеження мінімальної вигоди від використання УЗЕ

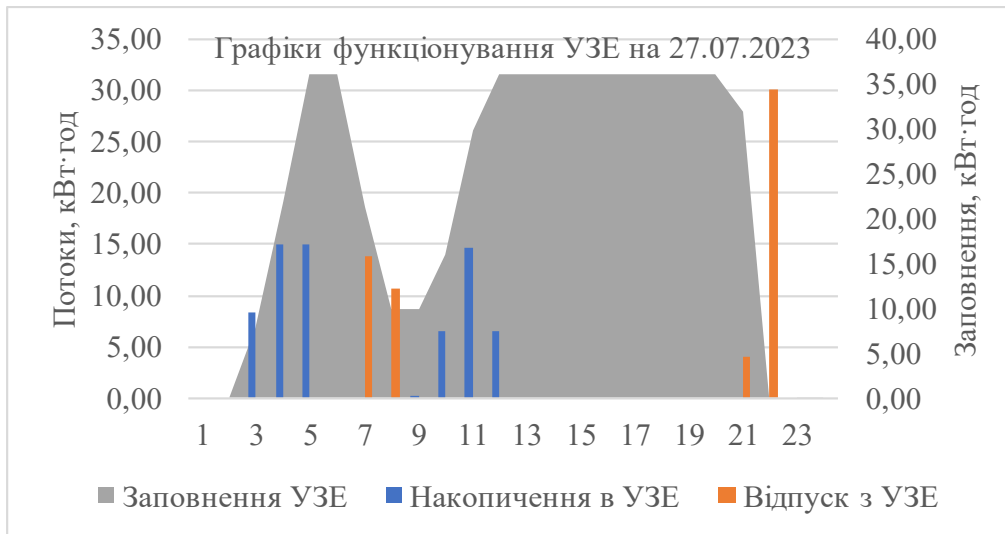




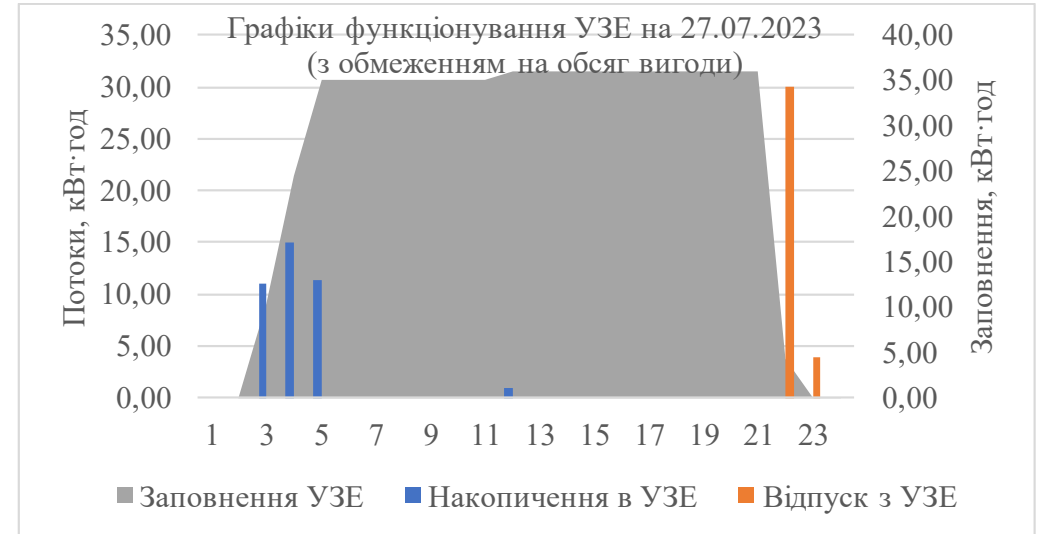


# Обмеження мінімальної вигоди від використання ресурсів УЗЕ

Без обмеження мінімальної вигоди:



З обмеженням мінімальної вигоди:



## Реалізація пілотних проєктів з розроблення та впровадження мікромереж



Використання контролера мікромережі на базі штучного інтелекту, який розробляється в проєкті ОММ, дозволить ефективніше використовувати існуюче обладнання для:

- забезпечення надійного живлення критичних споживачів;
- зниження витрат на купівлю електроенергію шляхом корегування графіку споживання відповідно до динамічних цін;
- надання операторам мереж послуги з регулювання напруги, компенсації реактивної потужності, обмеження споживання активної потужності та аварійного відновлення.



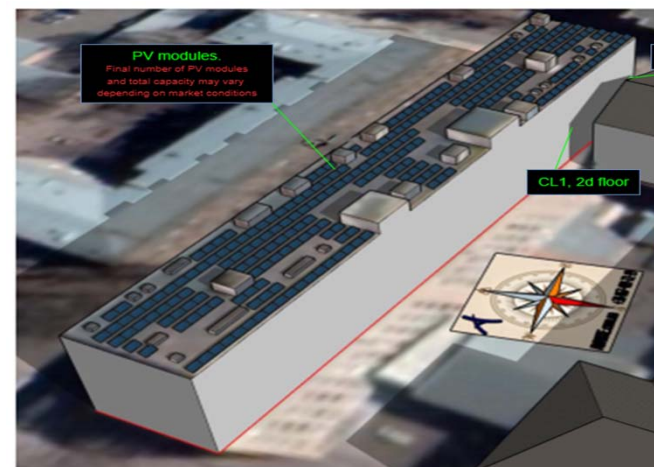
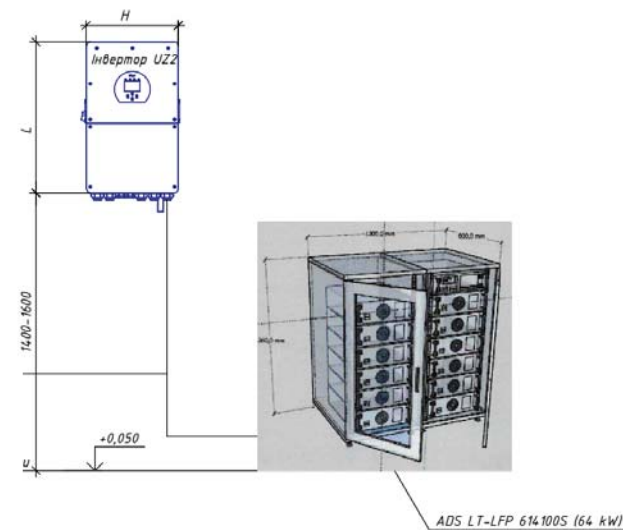
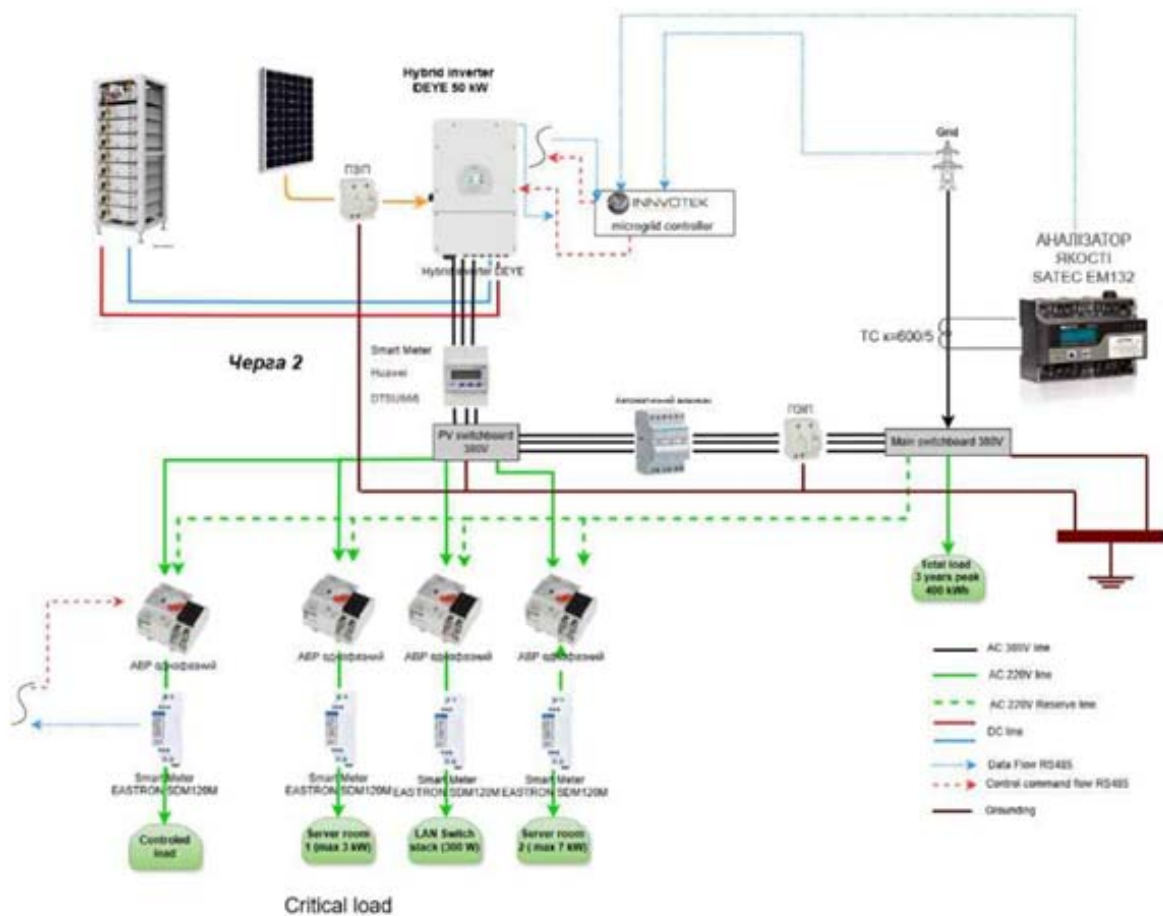
**Innovate Ukraine Green Innovation Fund launches to rebuild Ukraine's energy sector**

Програма Innovate Ukraine "Інноваційна Україна – підтримка енергетичного відновлення України" в період 2024-2025 рр.

У виконанні проєкту беруть участь організації та наукові заклади з України та Великобританії.



# Реалізація пілотного проєкту з розроблення та впровадження мікромережі на базі Інституту електродинаміки НАН України

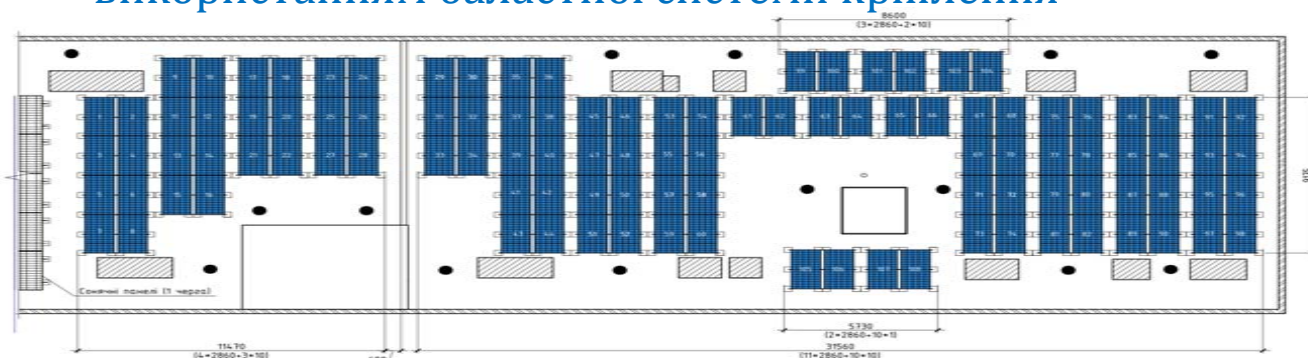




# Реалізація пілотного проєкту з розроблення та впровадження мікромережі на базі Інституту електродинаміки НАН України



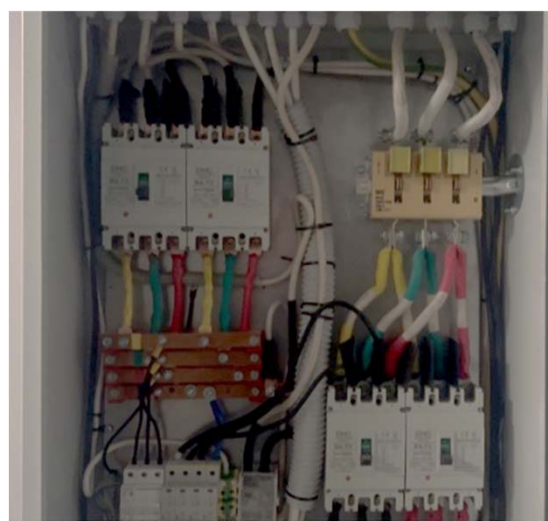
Побудовано дахову сонячну електростанцію з використанням баластної системи кріплення



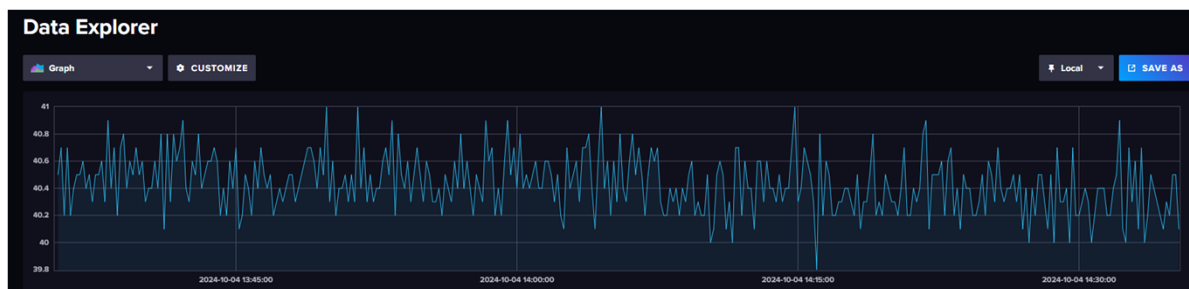
## Реалізація пілотного проєкту з розроблення та впровадження мікромережі на базі Інституту електродинаміки НАН України



Встановлено сучасні гібридні інвертори, установку зберігання електричної енергії, підключено критичне навантаження та «розумні» лічильники електричної енергії



Розпочато побудову системи керування роботою мікромережі





## Міжнародне партнерство

### Візит заступника міністра закордонних справ Великої Британії з питань Європи Стівена Дауті до Інституту електродинаміки НАН України





## Висновки



Розвиток науково-технічних основ та розроблення заходів і засобів забезпечення ефективного функціонування та розвитку розподіленої енергетики в Україні, а також децентралізації і структурної перебудови ОЕС України є основою створення умов надійного та економічного електропостачання споживачів, зокрема гарантованого електропостачання об'єктів критичної інфраструктури, на основі використання технологій мікромереж шляхом виділення частини електричних мереж з критичним навантаженням та джерелами розподіленої генерації в організований енергетичний острів з автоматичним підтриманням основних робочих параметрів мережі.

Застосування технологій мікромереж є важливою технологією розвитку розподіленої енергетики України, яка сприяє підвищенню ефективності та стійкості системи енергопостачання, дає можливість локального контролю за рівнями відпуску і споживання електричної енергії в межах мікромережі, що дозволяє оптимізувати роботу розподілених енергоресурсів, знизити витрати на електроенергію.

Прийняття та подальше використання міжнародних стандартів в сфері мікромереж, як національних стандартів України, забезпечить підготовку необхідної нормативної бази, визначення вимог до загальних параметрів мікромереж, складу систем керування ними, основних напрямків їх використання.

Впровадження технологій мікромереж в Україні передбачає розв'язання цілої низки наукових та науково-практичних задач, пов'язаних з розробкою моделей розрахунків режимів роботи мікромереж різних класів напруги, моделей функціонування обладнання в складі мікромереж, моделей для аналізу впливу режимів роботи мікромереж на параметри якості електричної енергії, оптимізації функціонування мікромереж в різних режимах їх роботи, що є основою для планування та реалізації пілотних проєктів з впровадження мікромереж в Україні, розвитку нормативної та регуляторної бази.



Національна академія наук України

Інститут  
електродинаміки



**Дякую за увагу!**



Заступник директора Інституту з наукової роботи  
д-р. техн. наук, проф. Ігор БЛІНОВ  
тел. (044) 366-24-43  
[blinovihor@gmail.com](mailto:blinovihor@gmail.com)



Національна академія наук України

Інститут електродинаміки

Україна, 03057, м. Київ, проспект Перемоги, 56

тел.: +38 044 366 2625 факс: +38 044 366 2686

e-mail: [ied1@ied.org.ua](mailto:ied1@ied.org.ua)