

Впровадження міжнародних стандартів та моделі оптимізації функціонування мікромереж (microgrid) в Україні



БЛІНОВ І.В.



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

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 відповідної перебудови мережевої інфраструктури на основі сучасних технологій «розумних мереж» та забезпечення гарантованого електропостачання об'єктів критичної інфраструктури.

Вирішення цих 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. Тому 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 мікромереж для різних типів користувачів, залучення органів місцевого самоврядування та операторів систем розподілу.

За поданням Міненерго у жовтні 2022 року Урядом схвалено Концепцію впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року та затверджено деталізований план заходів з її реалізації. Одним із компонентів розвитку «розумних мереж», разом із іншими важливими заходами, визначених у Концепції є мікромережі.

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» передбачає терміновий аналіз чинних законодавчих актів з метою внесення законодавчих змін, необхідних для створення та функціонування в громадах мікромереж.

Все це робить дослідження і розробки, спрямовані на адаптацію існуючого світового досвіду впровадження мікромереж відповідно до міжнародних нормативних документів і заходи, спрямовані на поліпшення характеристик мікромереж, до умов України, надзвичайно актуальними.



Стандартизація в сфері "розумних мереж" в Україні до 2035 року

В «Концепції впровадження "розумних мереж" в Україні до 2035 року» відзначено, що для успішного впровадження "розумних мереж" необхідно використовувати успішний світовий і європейський досвід впровадження "розумних мереж", а також розроблені та апробовані стандарти і рекомендації, зокрема Міжнародної електротехнічної комісії, Міжнародної організації із стандартизації, Міжнародного союзу електрозв'язку, Європейського комітету з електротехнічної стандартизації.

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

IEC TS 62898-2:2018 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 розпорядженнями 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.



18 червня 2024 р., Верховна Рада прийняла в першому читанні законопроект щодо використання термінології у сфері впровадження «розумних мереж» №11083.

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.



Перелік необхідних до прийняття міжнародних стандартів :

- 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 62898-2: 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.
- IEC TS 62898-4: 2023 Microgrids - Part 4: Use cases (Мікромережі. - Частина 4: Варіанти використання)

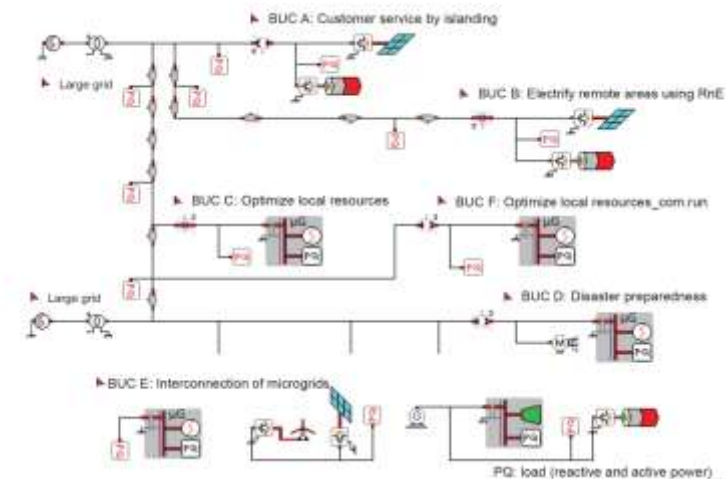
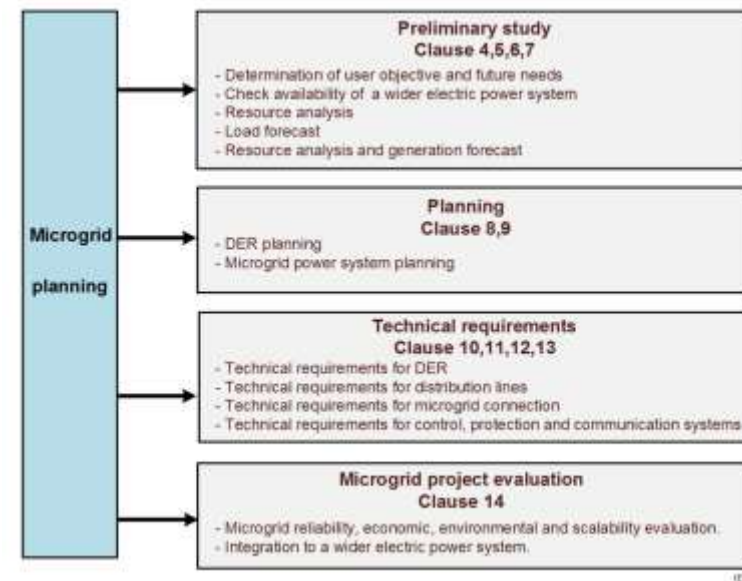
IEC TS 62898-1 та IEC TS 62898-4

IEC TS 62898-1 містить рекомендації щодо планування та специфікації проектів MICROGRID на рівні низької або середньої напруги.

Передбачено, що неізолювані MICROGRID можуть виступати як керовані елементи електроенергетичної системи та працювати у двох режимах:

- режим приєднання до енергосистеми;
- острівний режим.

IEC TS 62898-4 надає набір варіантів використання, пов'язаних з MICROGRID як формою «децентралізованої енергетичної системи». Децентралізовані енергетичні системи – невеликі енергетичні системи, що містять навантаження та розподілені енергетичні ресурси (генерація, зберігання) з децентралізованим керуванням енергопостачанням.





Основні сценарії використання мікромереж:

- a) **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 комерційної структури, військової бази, лікарні;
- b) **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;
- c) **мікромережі, структура яких спрямована на зниження витрат на електроенергію для їх користувачів шляхом оптимального використання власних активів** таких, як установки зберігання енергії (УЗЕ), диспетчеризоване навантаження та генератори;
- d) **мікромережі, структура яких спрямована на забезпечення стійкості електропостачання до стихійних лих шляхом оптимального використання власних активів**, таких як установки зберігання енергії, диспетчеризоване навантаження та генератори. Мікромережі такого типу доцільно будувати в районах, де часто спостерігаються різні природні явища, здатні суттєво вплинути на якість електропостачання. Вони також призначені для зон, де необхідні покращені показники електропостачання для деяких критичних навантажень тощо.

IEC TS 62898-2 IEC та TS 62898-3-1

IEC TS 62898-2 застосовується до експлуатації та керування MICROGRID, включаючи:

- режими роботи;
- загальний опис систем енергоменеджменту та управління MICROGRID;
- процедури зв'язку та моніторингу;
- використання накопичувачів електричної енергії;
- принципи захисту, що охоплюють: неізолювану MICROGRID, ізолювану MICROGRID, синхронізацію та повторне включення, якість електроенергії;
- введення в експлуатацію, технічне обслуговування та випробування.

IEC TS 62898-3-1:2020 містить рекомендації щодо специфікації захисту від відмов та динамічного керування в MICROGRID задля забезпечення безпечної та стійкої їх роботи в умовах збоїв та завад.

Стандарт визначає принципи захисту та динамічного управління MICROGRID, загальні технічні вимоги та спеціальні технічні вимоги щодо захисту від відмов та динамічного управління.

$$f_{ref} = f_0 - K_p (P - P_0)$$

$$U_{ref} = U_0 - K_q (Q - Q_0)$$

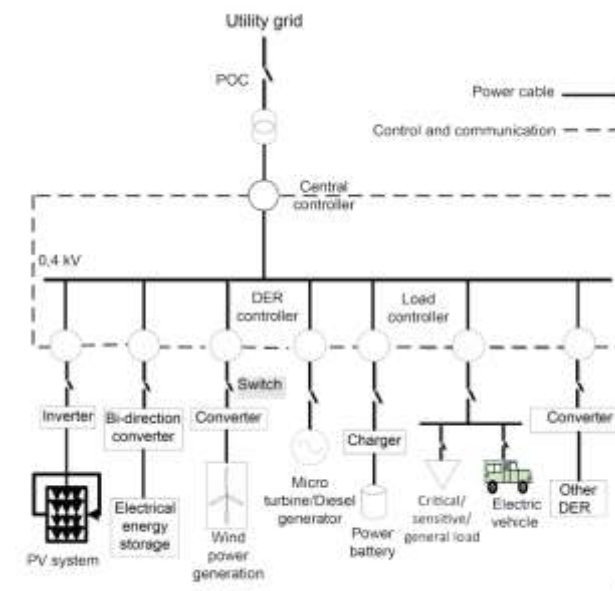


Figure 1 – Example for a non-isolated microgrid

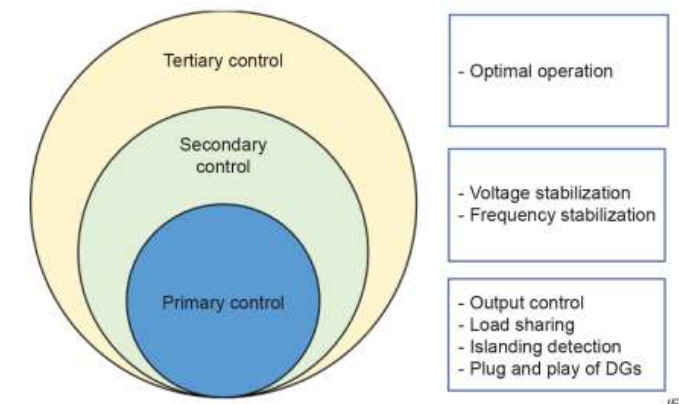
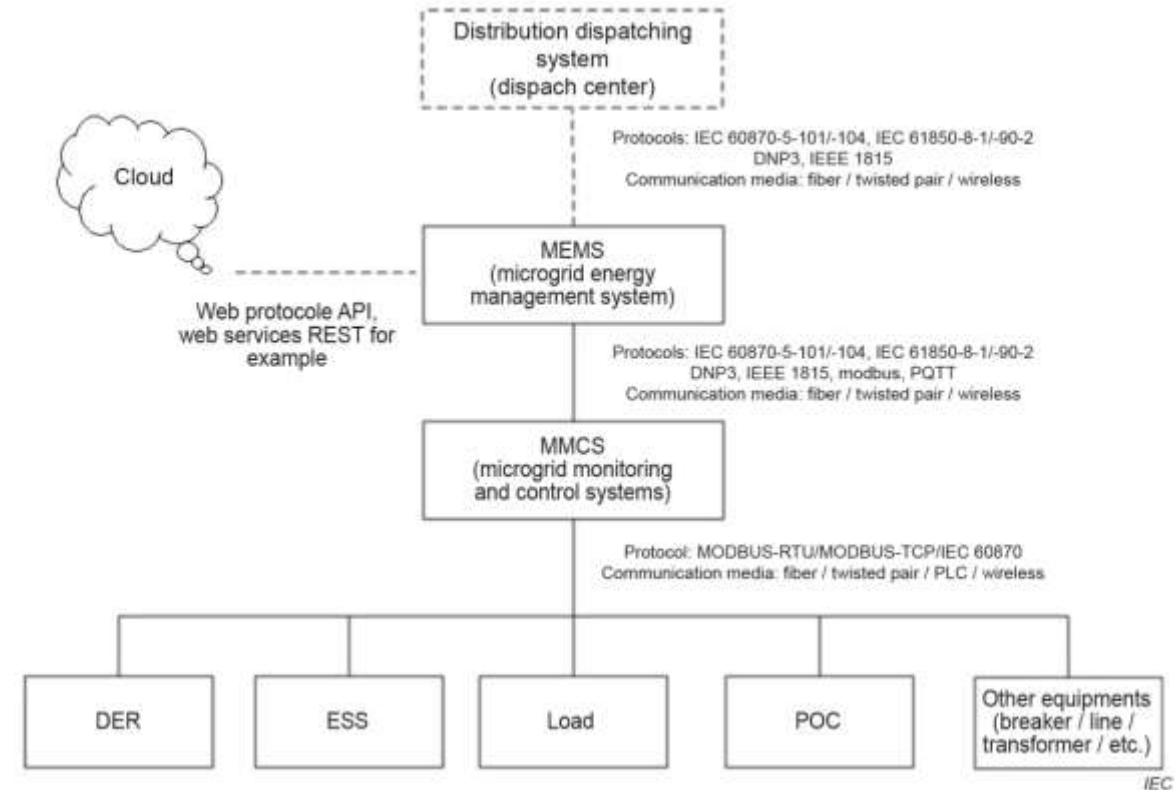


Figure 3 – Hierarchical control levels of a microgrid

Стандарт IEC TS 62898-3-2:2024 містить технічні вимоги щодо експлуатації систем енергоменеджменту мікромереж. У цьому документі описані конкретні рекомендації для систем низької та середньої напруги.

Основна увага приділяється розробці стандартів систем енергоменеджменту, призначених для Microgrid, інтегрованих до децентралізованих енергетичних систем або систем розподілу. Наведено опис систем управління енергоспоживанням Microgrid різних учасників (комунальних підприємств, виробників та постачальників енергії) у реальних пілотних проектах та варіантах використання.

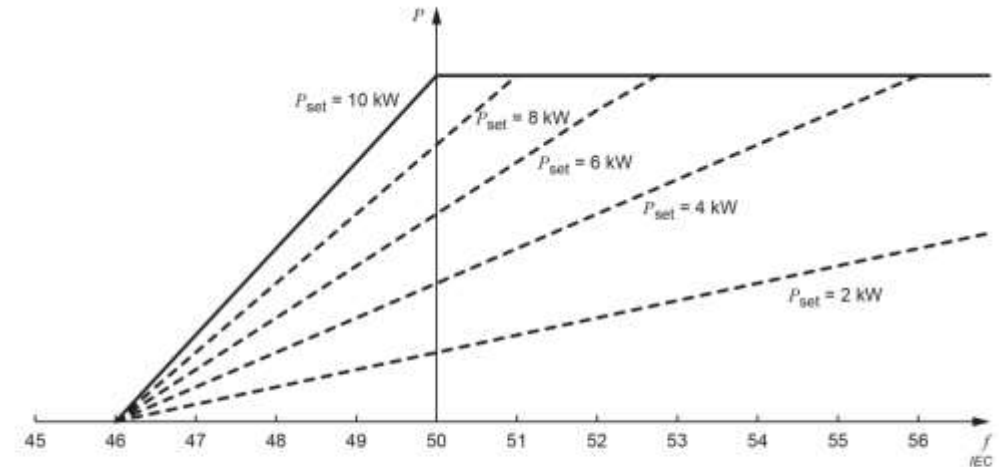
Цілі цього документа — надати загальний опис сучасного стану існуючих систем енергоменеджменту, які використовуються в реальних проектах Microgrid, класифікувати відповідні функції, які можуть бути виконані за допомогою систем енергоменеджменту Microgrid, та рекомендувати необхідні технічні вимоги до систем енергоменеджменту майбутніх Microgrid.



У стандарті IEC TS 62898-3-3:2023 розглядається стабілізація частоти та напруги Microgrid змінного струму за допомогою диспетчеризованих навантажень, які автономно реагують на зміни частоти та напруги при зміні споживання активної потужності. Охоплюються Microgrid із частотою 50 Гц і 60 Гц. У цьому стандарті наведено вимоги щодо імітації ефекту саморегулювання навантажень, у тому числі штучної інерції.

У стандарті описуються як безперервно керовані навантаження з контролем зменшення їх значення, так і навантаження, що перемикаються з поетапними налаштуваннями.

Сфера застосування цього стандарту обмежена навантаженнями, підключеними до рівня напруги до 35 кВ.



Key

f frequency, expressed in hertz

P load power of the item of equipment, expressed in kilowatts

Figure B.1 – Example of $P(f)$ self-regulation in an isolated microgrid

The self-regulation behaviour of the load in this example can thus be described by the following set of equations.

$$P(U) = 0 \quad \text{for } U \leq 200 \text{ V} \quad (\text{B.8})$$

$$P(U) = P_{\text{set}} \cdot [1 + 0,1 \cdot (U - 210)] \quad \text{for } 200 \text{ V} \leq U \leq 210 \text{ V} \quad (\text{B.9})$$

$$P(U) = P_{\text{set}} \quad \text{for } 210 \text{ V} \leq U \leq 250 \text{ V} \quad (\text{B.10})$$

$$P(U) = \min \{ P_{\text{set}} \cdot [1 + 0,1 \cdot (U - 250)], P_{\text{rated}} \} \quad \text{for } U \geq 250 \text{ V} \quad (\text{B.11})$$

Стандарт IEC TS 62898-3-4:2023 містить технічні вимоги до моніторингу та управління **Microgrid**. Цей стандарт застосовується до неізолюваних або ізолюваних **Microgrid**, інтегрованих із розподіленими енергетичними ресурсами. У стандарті описані конкретні рекомендації для **Microgrid** низької та середньої напруги.

У документі основна увага приділяється стандартизації архітектури, функцій та роботи систем моніторингу та управління **Microgrid** (MMCS). Розкриваються загальні функції MMCS (зокрема і оптимізаційні задачі, задачі прогнозування) та наводяться технічні вимоги до MMCS.

Цей документ включає наступні аспекти MMCS:

- архітектуру системи,
- обмін інформацією з іншими пристроями/функціями у **Microgrid**,
- вимоги до продуктивності,
- опис основних функцій.

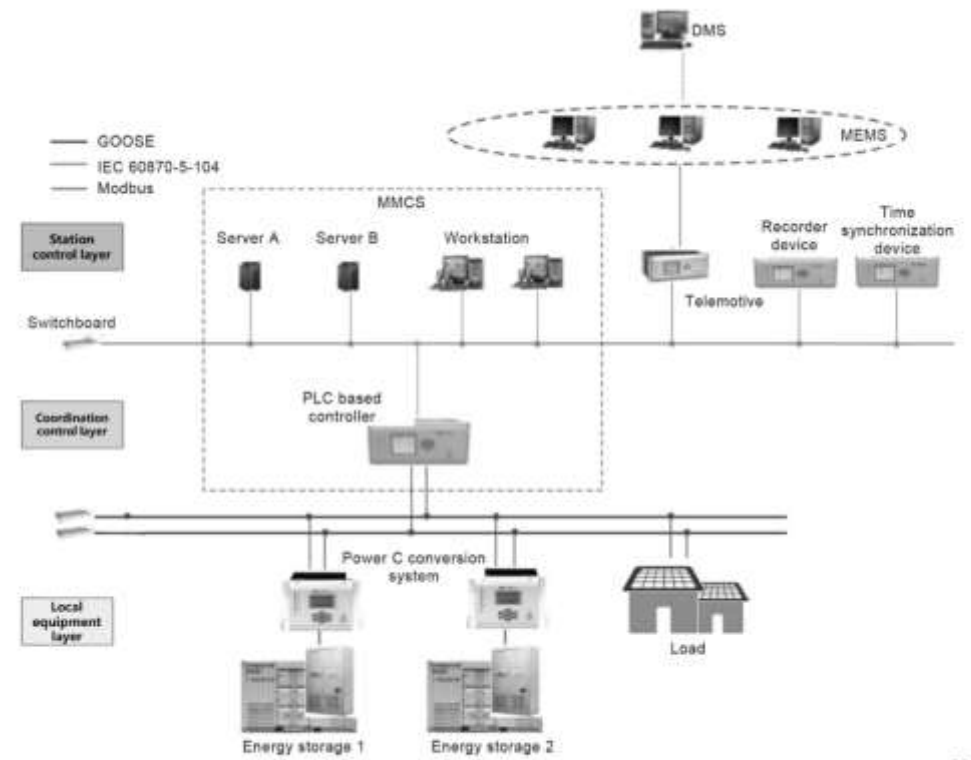


Figure B.4 – The main structure of MMCS

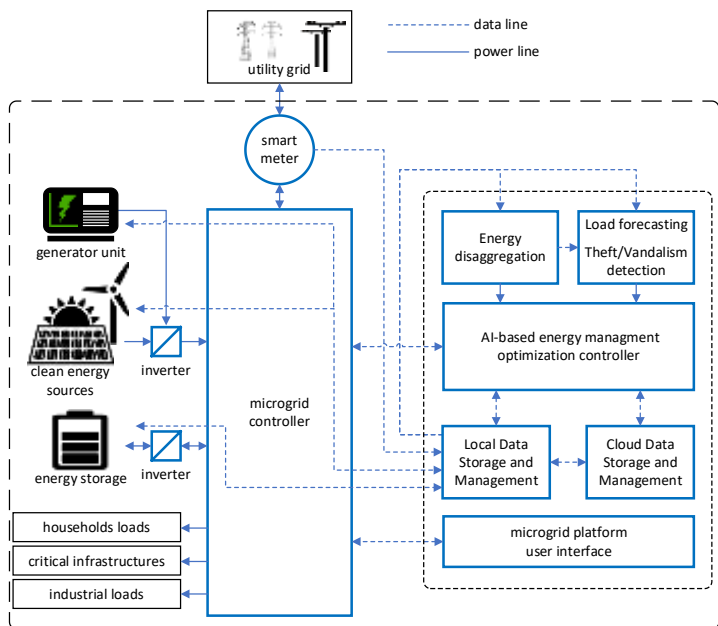


Реалізація пілотних проєктів з розроблення та впровадження мікромереж



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

- забезпечення надійного живлення критичних споживачів;
- зниження витрат на купівлю електроенергії 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



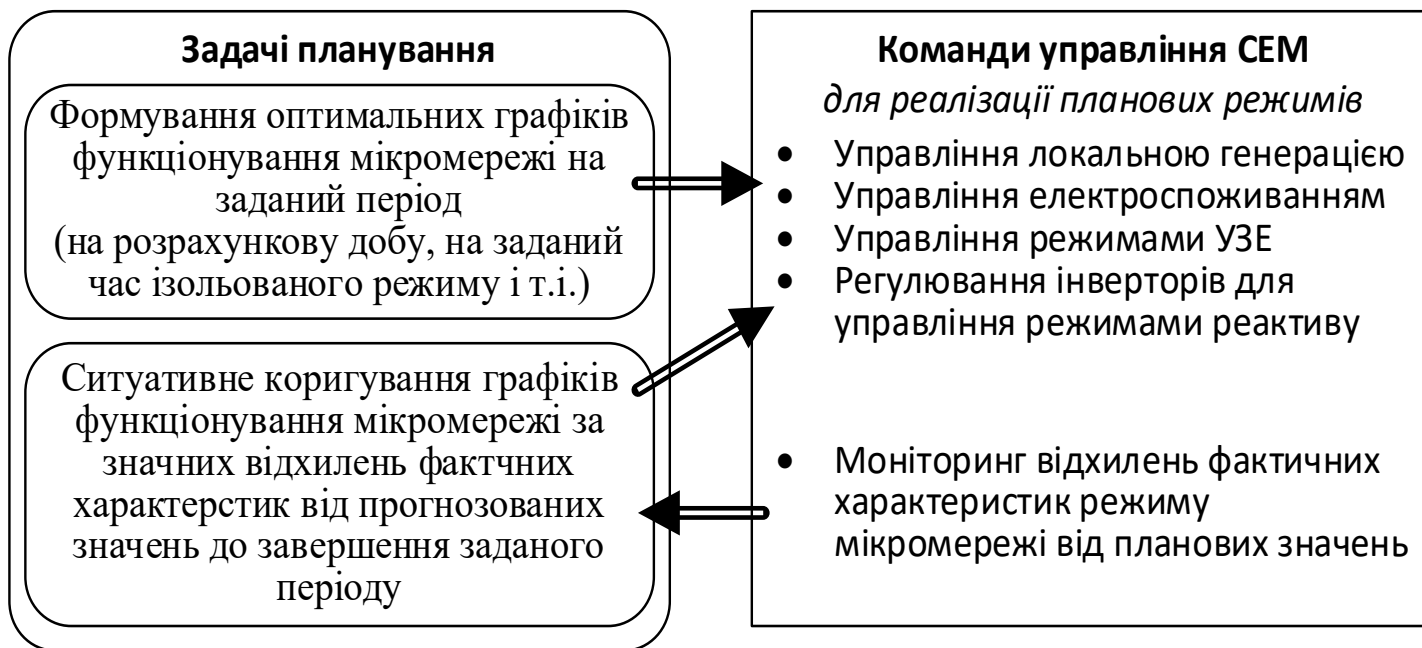
Innovate Ukraine Green Innovation Fund launches to rebuild Ukraine's energy sector

Проєкт виконується в межах програми Innovate Ukraine, що реалізується, Британським інноваційним агентством, "Інноваційна Україна - підтримка енергетичного відновлення України" в період 2024-2025 років. У виконанні проєкту беруть участь організації та наукові заклади з України та Великобританії.



Окремі функції планування 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.





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 також може виникати задача дотримання заданих ОСР обмежень обсягів електроспоживання:

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

Тоді ціль задачі планування графіків функціонування мікромережі полягає у мінімізації витрат 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:

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



Окремі функції реалізації графіків роботи мікромереж

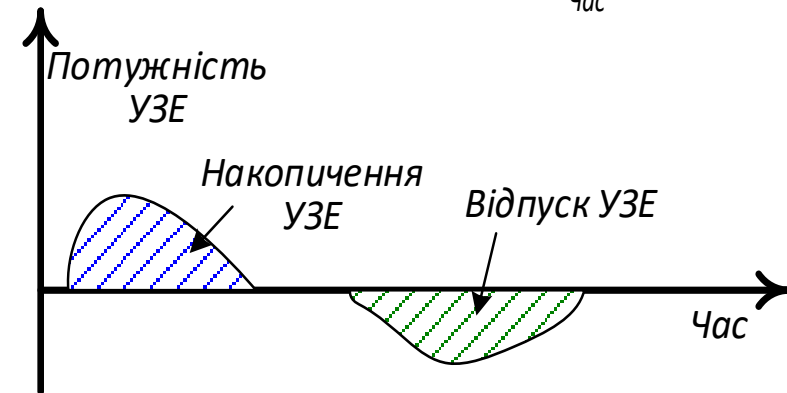
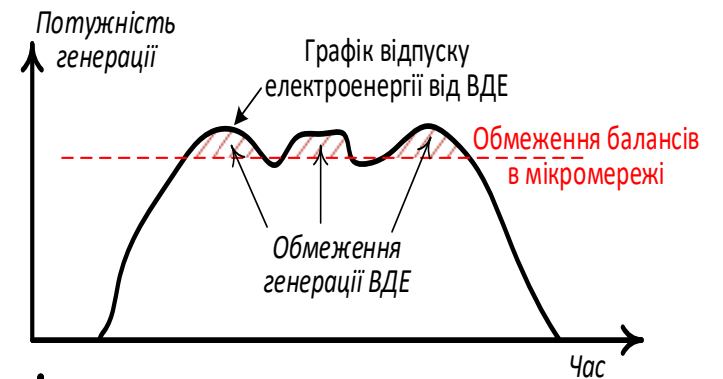
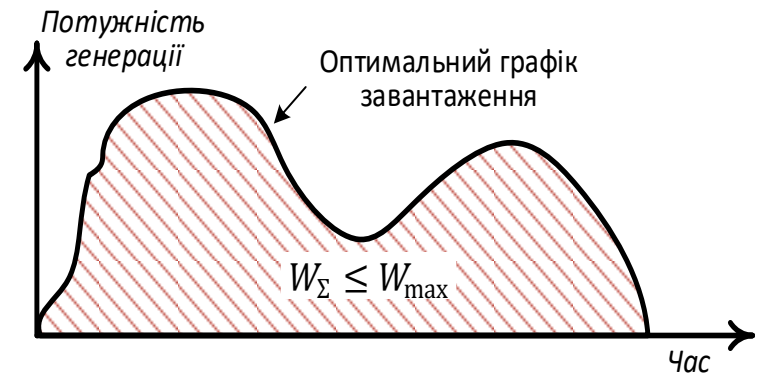
1. Для регульованої локальної генерації (наприклад, дизель-генератори) – на етапі планування формується оптимальний графік завантаження виходячи із обсягу наявних енергоресурсів. За потреби обсяг наявних (накопичених) енергоресурсів коригується як критерій досягнення заданої цілі, або визначається розв'язанням окремої задачі оптимізації. Команди СЕМ реалізують визначений на етапі

2. Для нерегульованих джерел генерації (ВДЕ) команди СЕМ реалізують контроль профіциту генерації. Задача контролю за профіцитом генерації ВДЕ ставиться на підприємстві у наступних основних випадках:

3. Управління режимами УЗЕ

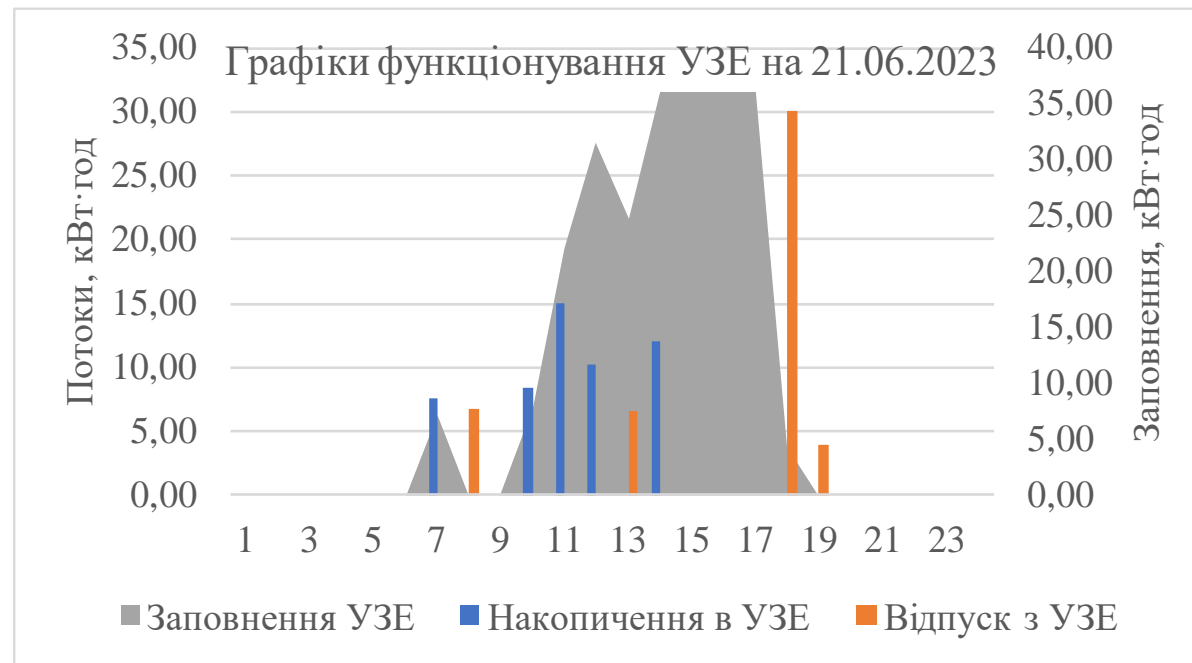
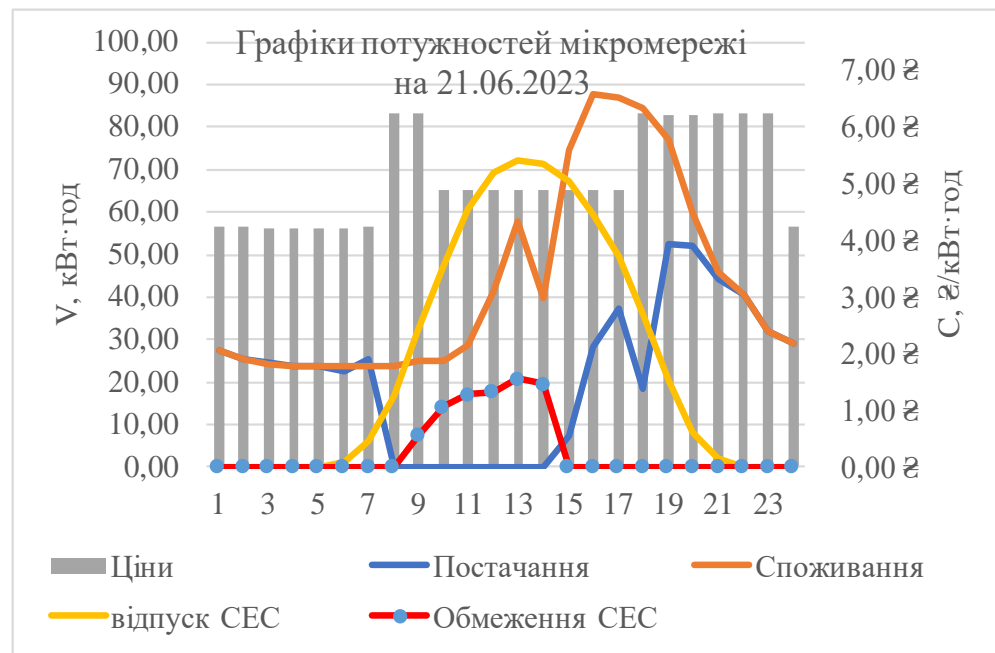
Якщо на етапі планування режимів роботи мікромережі формується оптимальний графік УЗЕ, то функції СЕМ зводяться до надсилання команд реалізації планового графіка.

Якщо УЗЕ використовується для балансування режимів мікромережі (наприклад, в умовах ізольованої роботи), то на етапі планування для СЕМ формуються функції управління УЗЕ в залежності від контрольованих параметрів режиму мікромережі.





Приклади оптимізації режимів функціонування УЗЕ в мікромережі

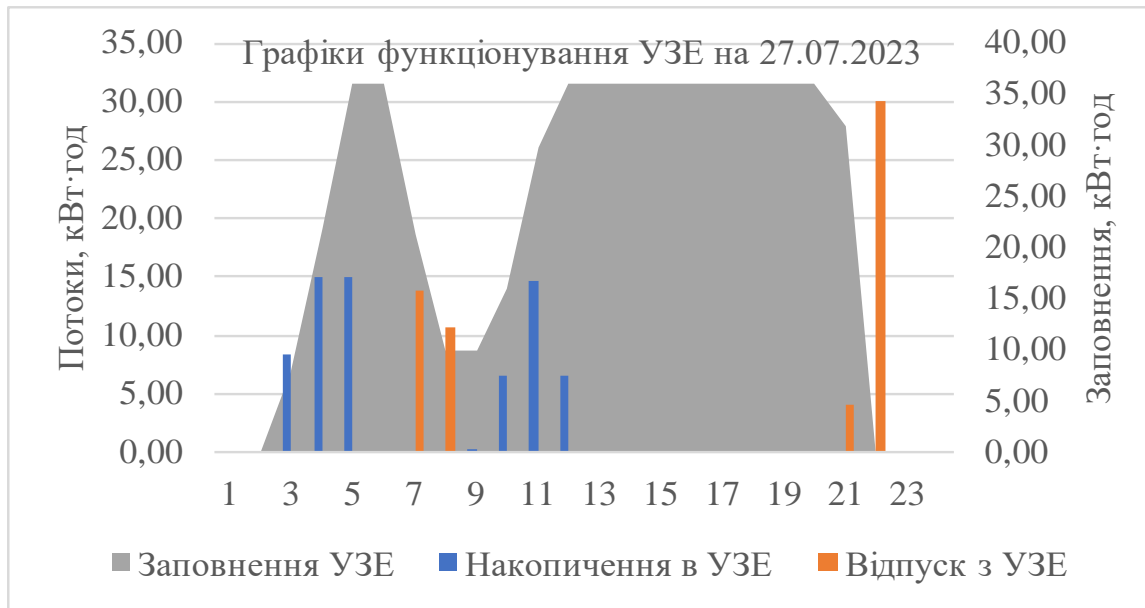


Доба	Зменшення вартості закупівлі електроенергії		
	СЕС (за добу)	УЗЕ (на 1 цикл)	СЕС та УЗЕ (за добу)
22.12.2023	518,20 € (7,72%)	185,13€	739,82 € (11,03%)
21.06.2023	2 506,83€ (46,17%)	165,23€ < 166,67€	2 725,81€ (50,20%)

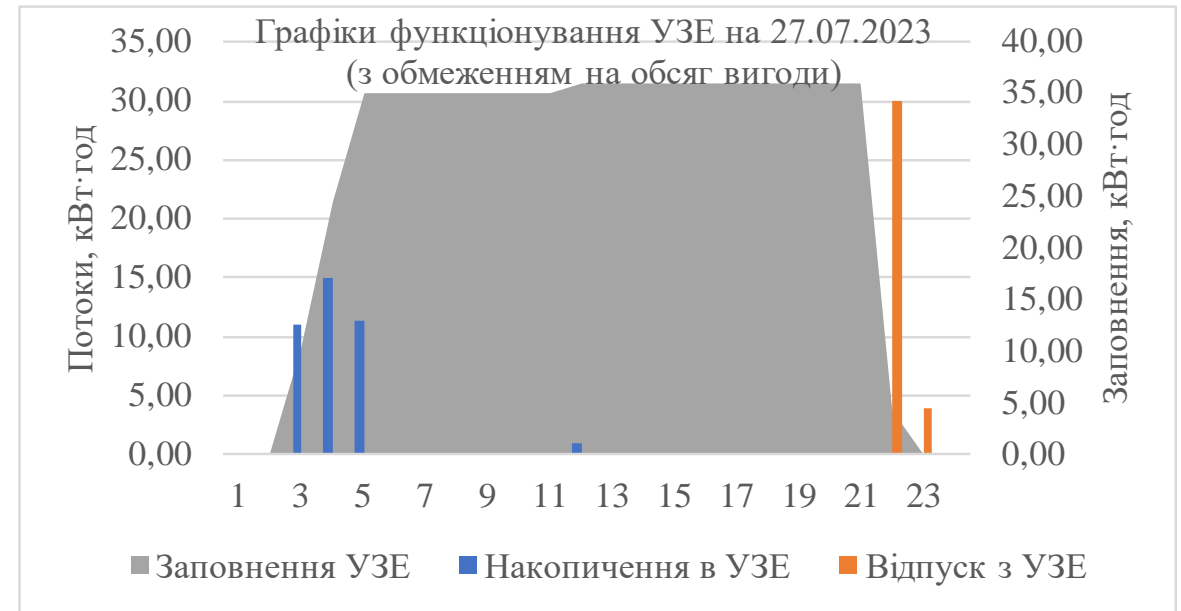


Обмеження мінімальної вигоди від використання ресурсів УЗЕ

Без обмеження мінімальної вигоди:



З обмеженням мінімальної вигоди:



Системи накопичення на акумуляторах повторного використання та керування попитом



Мобільний пристрій накопичення енергії зі змінними акумуляторними батареями повторного використання Mobile Energy sTorage uniT with swappabLe second-lifE battery ('METTLE')

Основною метою проекту є розробка технології, яка надає нове життя відпрацьованим акумуляторним батареям електромобілів в системах зберігання енергії.

Це гнучка система зберігання енергії, яка легко інтегрується з компонентами, такими як система керування батареями (BMS), блок силового перетворювача (PCU) та інтелектуальна система моніторингу та керування продуктивністю (Digital Twin).





Висновки

Прийняття та подальше використання міжнародних стандартів в сфері мікромереж як національних стандартів забезпечить підготовку відповідної нормативної бази, вимог до загальних параметрів мікромереж, складу систем керування ними, основних напрямків їх використання, що стане підґрунтям для формування технічних вимог до мікромереж у відповідності до міжнародних стандартів, пропозицій щодо змін до Кодексу системи розподілу, визначення планів заходів щодо впровадження мікромереж та перспективних пілотних проєктів.

Аналіз вимог та впровадження відповідних стандартів, а також реалізація пілотних проєктів є основою для підготовки проекту Плану заходів з впровадження мікромереж в Україні для різних типів користувачів.

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, удосконалення систем та установок зберігання електричної енергії, 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



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