

**Національна академія наук України  
Інститут загальної енергетики**

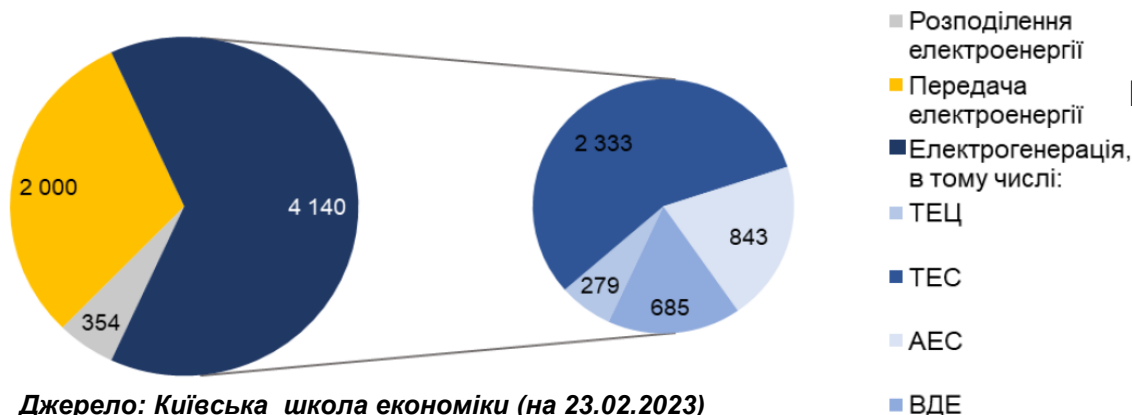
**Розподілена генерація  
на об'єктах  
критичної інфраструктури  
України**

**Доповідач: ТЕСЛЕНКО Олександр Іванович,  
провідний науковий співробітник  
відділу трансформації структури паливно-енергетичного комплексу**

**VIII міжнародний конгрес інженерів-енергетиків «Інноваційний шлях відновлення  
енергетики України» 17 жовтня 2023 р., м. Київ, Україна**

# Руйнація енергетичної та комунальної інфраструктури

Прямі інфраструктурні збитки об'єктам електроенергетики, млн дол. США



**Одним із шляхів підвищення стійкості ОЕС України в умовах війни є збільшення в її складі частки розподіленої генерації (тяжче руйнувати)**

Джерело: Київська школа економіки (на 23.02.2023)

- 33 масовані атаки (270 влучань) по об'єктах енергетичної інфраструктури: вражені 24 об'єкти генерації (ТЕС, ТЕЦ, ГЕС та ГАЕС), У мережі електропередач 42 з 94 критично важливих високовольтних трансформаторів (близько 50% ) були пошкоджені або зруйновані. Найбільше постраждала маневрена потужність, яка зменшилася на 68% (з 14,3 ГВт до 4,6 ГВт)
- на 30 квітня 2023 р. ОЕС України внаслідок руйнувань та тимчасової окупації втратила: потужностей АЕС - 44% (з 13,8 ГВт до 7,7 ГВт, включно з окупованою ЗАЕС), ТЕС -78%, блочних ТЕЦ - 66%, ГЕС - на 29% (з 6,6 ГВт до 4,7 ГВт, включно з Каховською ГЕС), доступна потужність ЕС на ВДЕ зменшилася на 24% (з 8,1 ГВт до 6,2 ГВт: ВЕС на 75%, СЕС на 20%).
- 5 ТЕЦ зруйновано та 8 ТЕЦ пошкоджено (з 43 ТЕЦ)
- 472 котельні пошкоджено або зруйновано ( з 20 424 котелень)
- 122 централізованих теплових пунктів зруйновано
- понад 145 пог. км теплових мереж зруйновано (з 31 314 км)

Джерело: Міненерго України ,  
Мінрегіон України  
Звіт UNDP : "Towards  
a green transition of  
the energy sector  
in Ukraine"

# Лист - запит РНБОУ до ІЗЕ НАН України



ЗАСТУПНИК СЕКРЕТАРЯ  
РАДИ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ І  
ОБОРОНИ УКРАЇНИ

вул. Петра Болбочана, 8, м. Київ, 01601, телефон: (044) 255-06-50,  
телефакс: (044) 255-05-85

№ \_\_\_\_\_

Директорові Інституту  
загальної енергетики  
Національної академії наук України  
БАБАКУ В.П.

**Шановний Віталію Павловичу!**

Відповідно до положень Указу Президента України від 30.11.1994 № 709 «Про інформаційно-аналітичне забезпечення Президента України», статті 8 Закону України «Про Раду національної безпеки і оборони України» просимо надати до Апарату РНБОУ України аналітичну записку щодо розташування елементів розподіленої електрогенерації на котельних системи централізованого тепlopостачання України.

Інформацію просимо надати в установленому порядку та на електронні адреси: klesova@rnbo.gov.ua, shoyko@rnbo.gov.ua.

**З повагою**

**Олексій СОЛОВІЙОВ**

**07 лютого 2023 р.** Інститутом загальної енергетики НАН України отримано лист – запит від Ради національної безпеки і оборони України про надання аналітичної записки **щодо розташування елементів розподіленої електрогенерації на котельнях системи централізованого постачання України**

Аналітична записка була розроблена співробітниками ІЗЕ НАН України та надана до РНБОУ України **21 лютого 2023 р.**

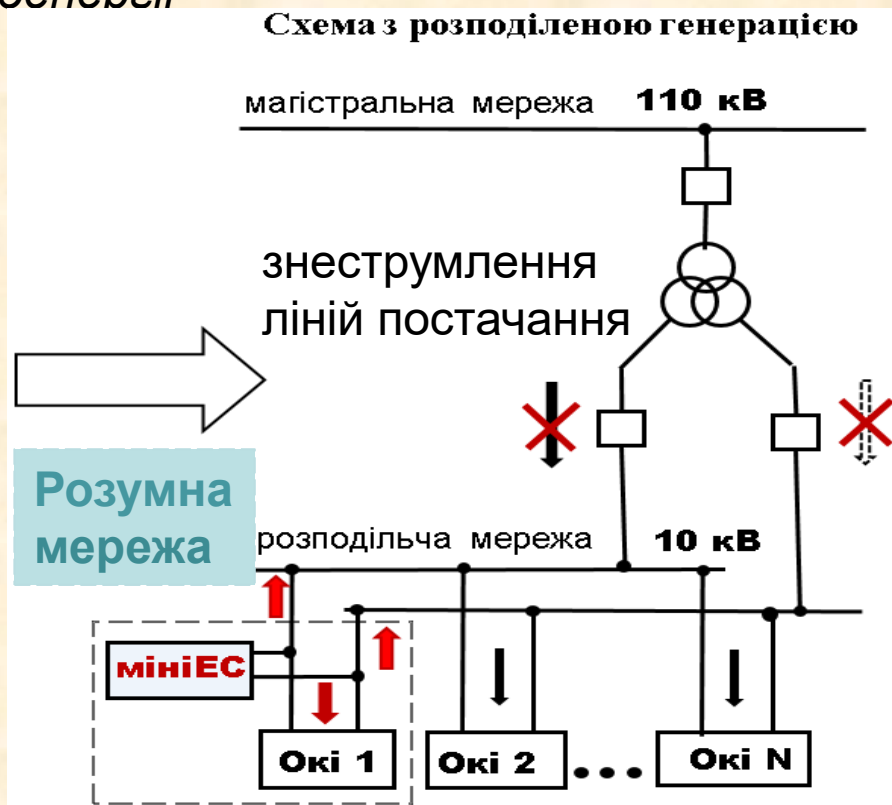
Основні положення записки надані до Плану заходів по п.9. рішення наради **ВФТПЕ НАН України від 06 лютого 2023р.**



Документ СЕД АСКОД. Апарат РНБОУ України  
421/14-05/2-23 від 07.02.2023  
Сертифікат 4FD4BFEDE9E1BAE3A0400000B86700008C4D0100  
Підписувач Соловійов Олексій Станіславович  
Дійсний з 19.08.2022 13:10:22 по 19.08.2024 13:10:22

# Трансформація об'єктів критичної інфраструктури в складові розподіленої генерації

Концептуальною ідеєю підвищення стійкості ОЕС України є перетворення існуючих об'єктів критичної інфраструктури із споживачів електроенергії в її виробників – постачальників, які забезпечать власні потреби та потреби інших споживачів у електроенергії



Мета дослідження - визначення енергетичного потенціалу впровадження розподіленої генерації на існуючих об'єктах критичної інфраструктури для планування заходів у період воєнного стану та післявоєнної відбудови України

# Ідентифікація об'єктів критичної інфраструктури для першочергового розміщення розподіленої генерації

## Котельні

систем централізованого тепlopостачання (СЦТ)



когенераційна  
газопоршнева установка  
(КГПУ)  
модульного типу  
(в контейнері)

**Переваги - наявність відповідної інфраструктури на промислових майданчиках:**

- існуючі лінії електропередачі та підстанції для видачі електроенергії до місцевих розподільчих електромереж (не потребує додаткових витрат на їх будівництво);
- існуючі газогони постачання природного газу;
- висока ефективність когенерації електричної та теплової енергії;
- зменшення втрат при передачі, трансформації та розподілі електроенергії;
- стислі терміни постачання, монтажу та налагоджування серійного устаткування;
- наявність високопрофесійного персоналу.

В післявоєнній перспективі така розподілена генерація забезпечить підвищення гнучкості ОЕС України шляхом **надання додаткових послуг з регулювання потужності** в регіональних енергосистемах завдяки високій маневровій здатності КГПУ

# Методичні підходи щодо визначення основних показників розподіленої генерації на об'єктах критичної інфраструктури (1)

Для кожної обраних трьох статистичних груп котелень СЦТ (група 1 – котельні тепловою потужністю від 3 до 20 Гкал/год, група 2 – від 20 до 100 Гкал/год; група 3 – 100 Гкал/год і більше) кожної області країни та м Києва були визначено середню теплову потужність умовної котельні  $N_{ji}^{cp}$  окремої статистичної групи за формулою (1):

$$N_{ji}^{cp} = \frac{N_{ji}}{M_{ji}}, \quad (1)$$

де  $j=1, \dots, 24$  – порядковий номер та загальна кількість областей в країні;  
 $i=1, \dots, 3$  – порядковий номер та загальна кількість статистичних груп котелень СЦТ;  
 $M_{ji}$  – кількість опалювальних котелень статистичної групи  $i$  в міських поселеннях області  $j$  країни на кінець 2014 р., одиниць;  
 $N_{ji}$  – сумарна потужність опалювальних котелень групи  $i$  в міських поселеннях області  $j$  країни на кінець 2014 р., Гкал/год.

**Пропускна потужність лінії електропостачання  $P_{ji}^{cp}$**  на умовну котельню середньої теплової потужності  $N_{ji}^{cp}$  окремо для кожної статистичної групи котелень  $i$  області  $j$  обраховувалась за формулою (2):

$$P_{ji}^{cp} = N_{ji}^{cp} \times e_i, \quad (2)$$

де  $e_i$  – питоме споживання електроенергії на виробництво теплової енергії (котельним обладнанням та мережевими насосами), визначене за довідником.

# Методичні підходи щодо визначення основних показників розподіленої генерації на об'єктах критичної інфраструктури (3)

Річне сумарне споживання природного газу КГПУ на СЦТ в країні

$$V_p^{\text{КГПУ}} = \sum_{j=1}^{J+1} \sum_{i=1}^3 (N_{ji}^{\text{КГПУ}} \times T_p \times (365 - T_{\text{пр}}) \times b_i^{\text{КГПУ}}), \quad (7)$$

де  $b_i^{\text{КГПУ}}$  – питоме споживання палива (природного газу) КГПУ на виробництво електричної енергії (за групою  $i$ ), приймалось рівним 0,24...0,25 нм<sup>3</sup>/кВт·год електроенергії при питомій теплоті згоряння газу 9,5 кВт·год/нм<sup>3</sup> (8180 ккал/нм<sup>3</sup>).

Капітальні затрати на впровадження КГПУ в країні

$$C_{\text{КГПУ}} = \sum_{j=1}^{J+1} \sum_{i=1}^3 (N_{ji}^{\text{КГПУ}} \times c_i^{\text{КГПУ}}), \quad (8)$$

де  $c_i^{\text{КГПУ}}$  – питома вартість когенераційного обладнання (за групою  $i$ ), приймалось рівним 750...950 дол. США/кВт встановленої електричної потужності КГПУ(за групою  $i$ ).

Нормована вартість електроенергії за життєвий цикл КГПУ

$$LCOE^{\text{КГПУ}} = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{(I_t + M \& O_t + F_t + H_t \times C_q)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (9)$$

де  $t$  — поточний рік експлуатації КГПУ з початку спорудження;  $N=20$  — життєвий цикл КГПУ;  $I_t$  — щорічні інвестиції (капітальні або інвестиційні витрати);  $M_t$  — умовно постійні витрати на обслуговування та експлуатацію;  $F_t$  — змінні витрати на ресурси (паливо, вода тощо);  $H_t$  — річне виробництво теплоенергії;  $C_q$  — відпускна ціна теплової енергії;  $E_t$  — річне виробництво електроенергії;  $r$  — дисконтна ставка.

## Методичні підходи щодо визначення основних показників розподіленої генерації на об'єктах критичної інфраструктури (2)

Кількість КГПУ  $K_{ji}^{\text{КГПУ}}$  та їх сумарна електрична потужність  $P_{ji}^{\text{КГПУ}}$  для кожної статистичної групи котелень  $i$  області  $j$  визначалась за формулами (3) та (4):

- для котелень групи 1 - потужність КГПУ  $N_1^{\text{КГПУ}} = 0,14$  МВт,
- для котелень групи 2 —  $N_2^{\text{КГПУ}} = 0,7$  МВт;
- для котелень групи 3 —  $N_3^{\text{КГПУ}} = 2,0$  МВт.

**Кількість КГПУ була підвищена вдвічі** з огляду на необхідність забезпечити **власні потреби котельні** в електроенергії та **потреби зовнішніх споживачів** критичної інфраструктури з використанням **однієї існуючої електролінії** розподільчої електромережі.

$$K_{ji}^{\text{КГПУ}} = 2 \times (P_{ji}^{\text{сп}} / N_i^{\text{КГПУ}}), \quad (3)$$

$$N_{ji}^{\text{КГПУ}} = K_{ji}^{\text{КГПУ}} \times N_i^{\text{КГПУ}}. \quad (4)$$

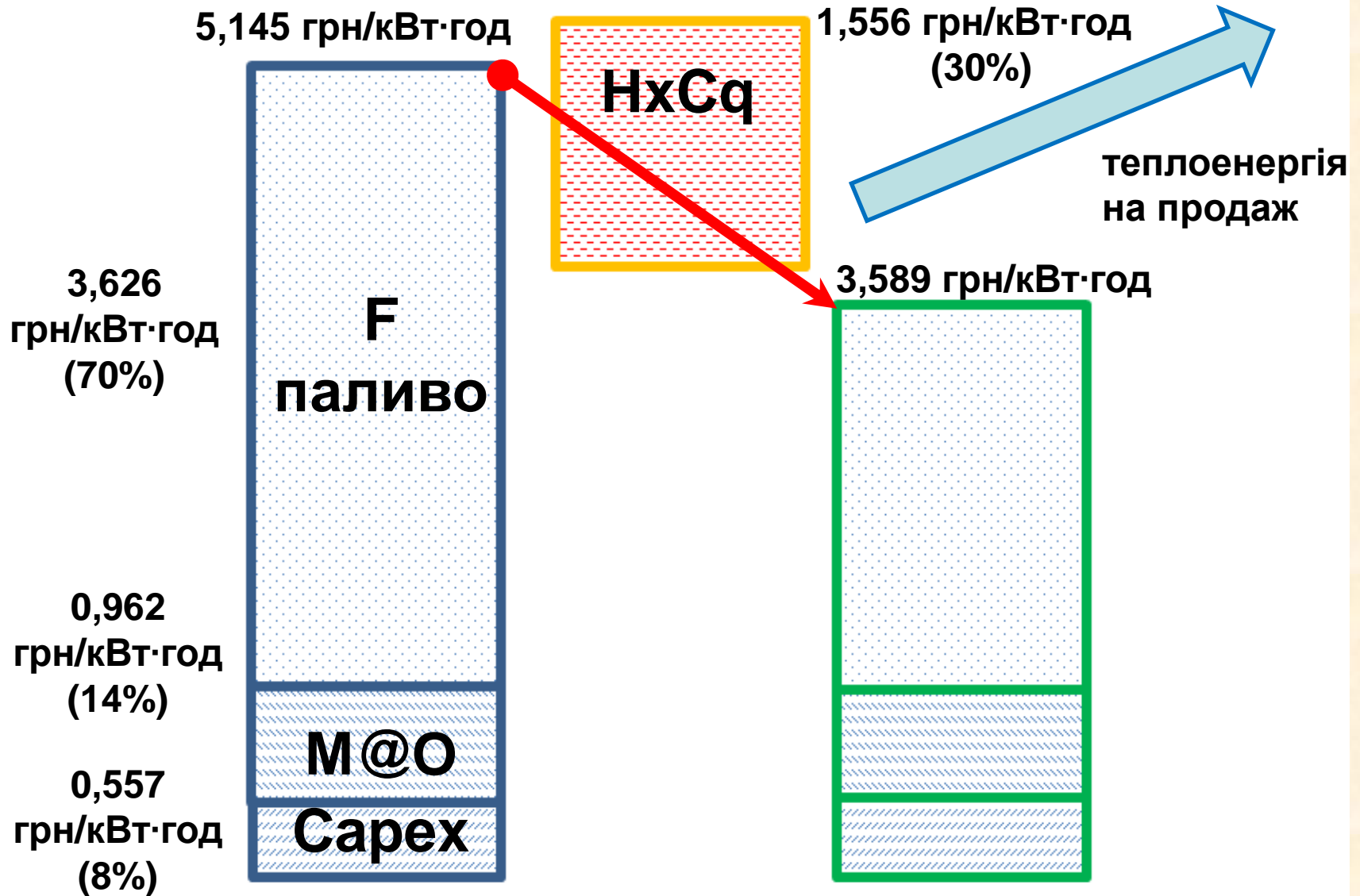
**Річний сумарний виробіток електроенергії КГПУ**, встановлених на котельнях СЦТ країни, визначався за формулою (5)

$$E_p^{\text{КГПУ}} = \sum_{j=1}^{J+1} \sum_{i=1}^3 (N_{ji}^{\text{КГПУ}} \times T_p \times (365 - T_{\text{пр}})), \text{ МВт}\cdot\text{год}/\text{рік} \quad (5)$$

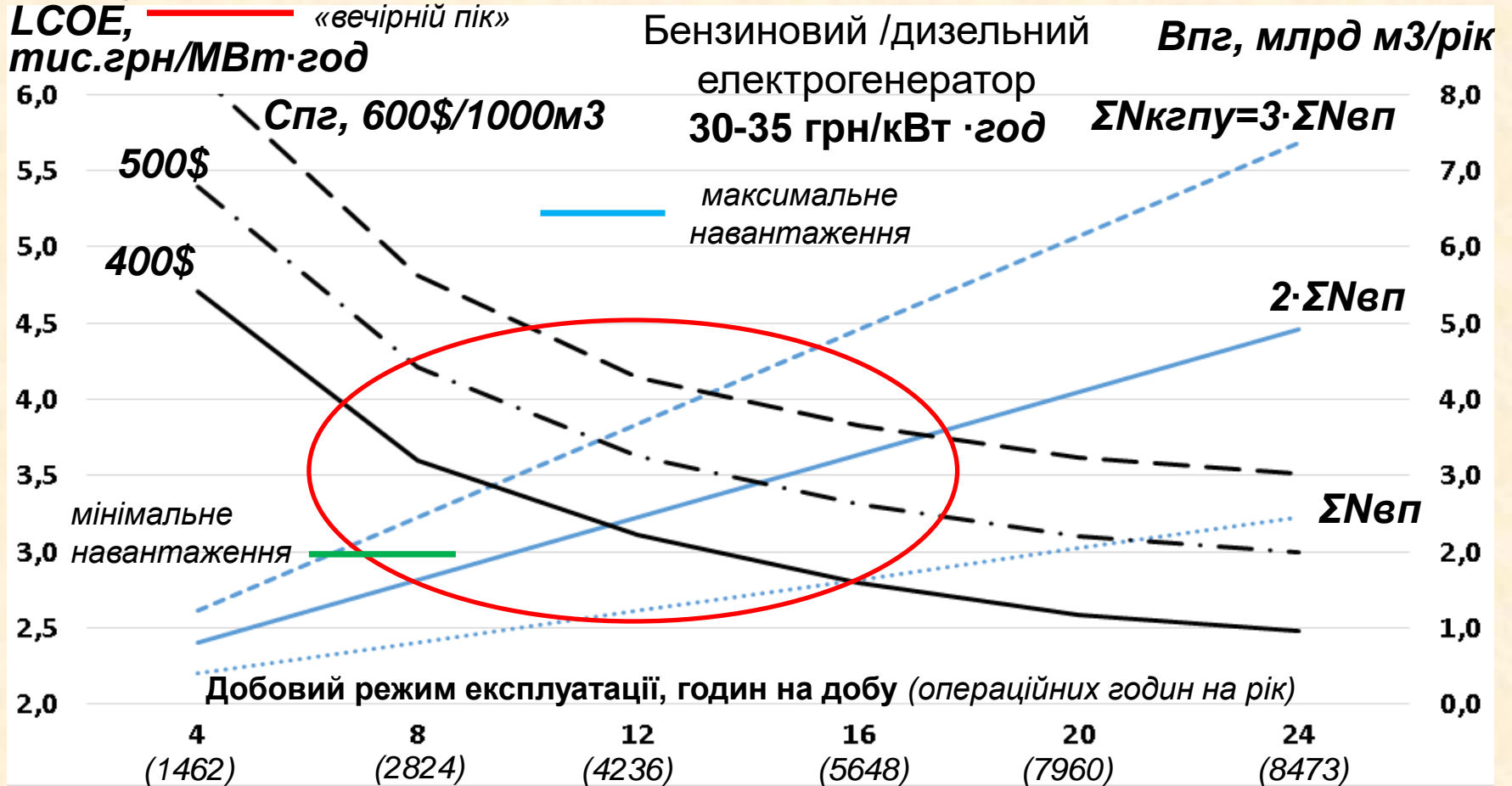
за їх сумарною потужністю, кількістю годин роботи  $T_p$  на добу, кількістю днів у році (365 днів/рік) та строком виконання ремонтно- профілактичних робіт  $T_{\text{пр}}$  на рік (12 днів/рік).



# Нормована вартість електроенергії



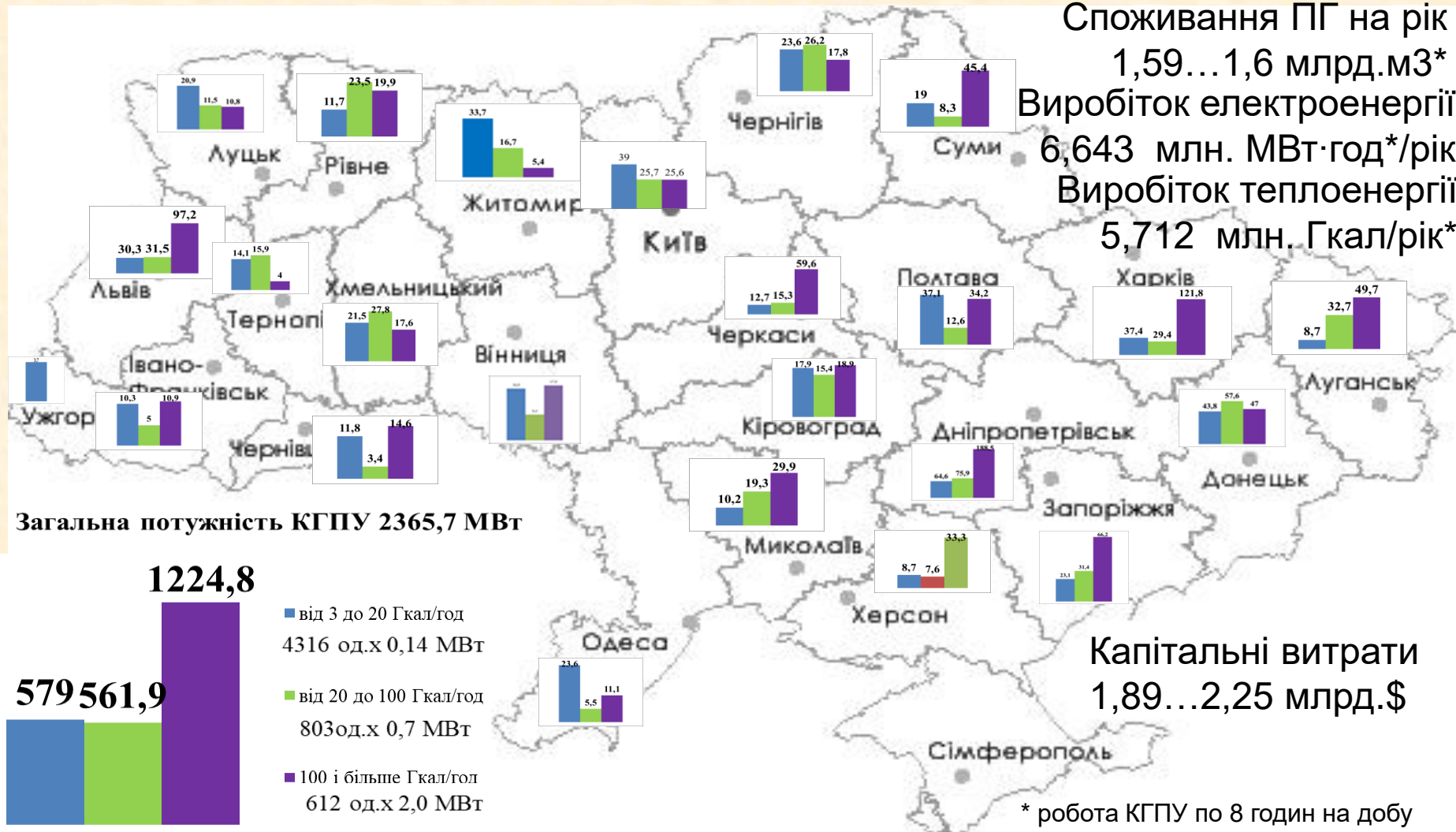
# Конкуренентоспроможність малої когенерації



**Довідка:** граничні ціни: на ринку електроенергії «на добу наперед» (РДН) та внутрішньодобовому ринку (з 01.07.2023р): максимальні граничні ціни для годин мінімального навантаження (з 00:00 до 07:00 та з 23:00 до 24:00) – **3 000 грн/МВт·год**, максимального навантаження (з 07:00 до 19:00) – **5 600 грн/ МВт·год**, «вечірнього піку» (з 19:00 до 23:00) - **7 200 грн/ МВт·год**; мінімальна гранична ціна – 10 грн/ МВт·год;

На балансуєчому ринку: максимальна гранична ціна – 125 % від ціни РДН, визначеної оператором ринку для кожного розрахункового періоду відповідної доби постачання; - мінімальна гранична ціна – 0,01 грн/ МВт·год. За результатами торгів на РДН ( 01.07.2023р ) середньозважена ціна склала **2932,23** грн/МВт·год. позапікового навантаження - 3079 грн/МВт·год. базового навантаження - 2777 грн/МВт·год.

# Енергетичний потенціал впровадження розподіленої генерації на котельнях СЦТ України

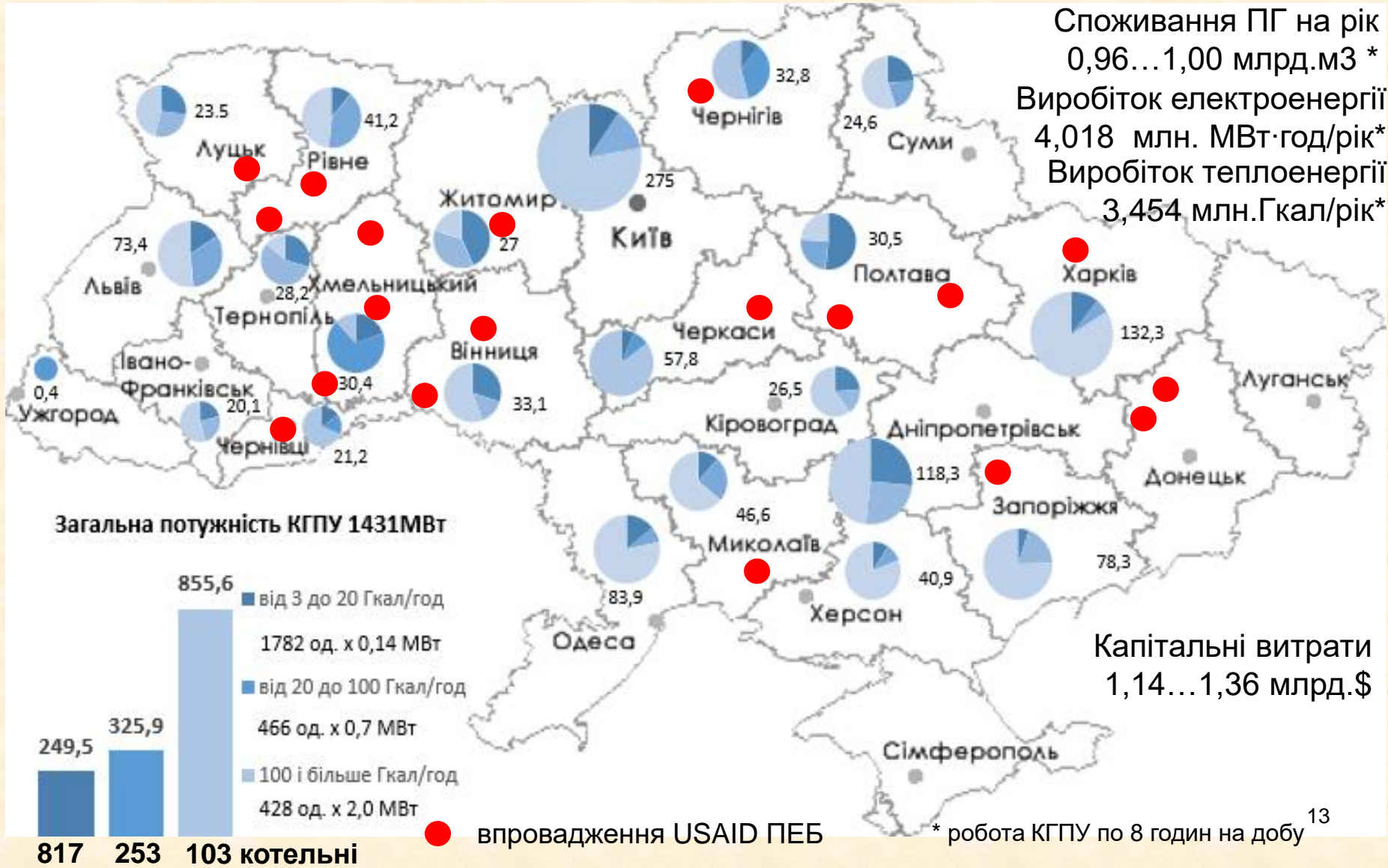


4136 409 158 котельнь

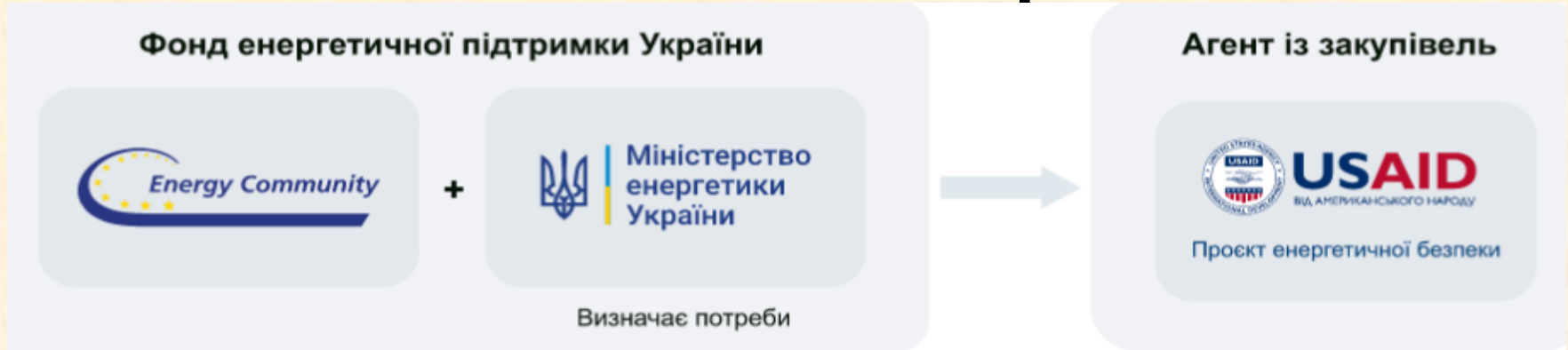
# Послідовність впровадження

- Утворення робочої групи з реалізації запропонованих заходів коротко термінового формування розподіленої генерації на об'єктах критичної інфраструктури України.
- НАН України готова прийняти активну участь у роботі цієї робочої групи та надати висококваліфіковану науково-технічну підтримку
- Розробка плану – графіку заходів впровадження розподіленої генерації на об'єктах критичної інфраструктури України, який передбачатиме наступне:
  - збір, систематизація та аналіз результатів обстеження поточного стану котелень СЦТ,
  - визначення пілотних об'єктів – котелень першочергового впровадження (доцільно в обласних центрах на першому етапі встановлювати КГПУ потужністю, яка задовольняє власні потреби котельні в електроенергії)
  - визначення проектних, монтажних та налагоджувальних організацій, які на першому етапі накопичать знання, досвід, навички та уміння з впровадження типового когенераційного обладнання
  - визначення постачальників обладнання та фінансових умов його надання (лізинг, пільгове кредитування, тощо) та організація централізованої закупівлі (постачання) такого обладнання
  - розробка тендерної документації та проведення тендерів на постачання

# Енергетичний потенціал розподіленої генерації на котельнях СЦТ обласних міст України



# Розвиток: пілотні проєкти



**USAID ПЕБ на запит ФЕПУ підготувало та провело два тендери:**

**1. Підвищення відмовостійкості електропостачання за допомогою розподіленої генерації**

Подання пропозицій до 2 червня 2023 р. Очікуваний результат - технічний аналіз та аналіз витрат, необхідних для включення пілотного проєкту мікромережі в енергосистему України та визначення стандартизованого процесу для розширення впровадження мікромереж у різних системах розподілу

**2. Закупівля більше 30 когенераційних установок загальною електричною потужністю більше 13 МВт для підприємств теплопостачання 19 міст України :**

Вінниця, Дружківка, Дубно, Житомир, Запоріжжя, Кам'янець – Подільський, Краматорськ, Кременчук, Луцьк, Миколаїв, Олександрія, Полтава, Рівне, Старокостянтинів, Чернігів, Чернівці, Шепетівка, Харків, Хмельницький.

Подання пропозицій до 12 червня 2023 р.

Очікуваний результат: накопичення практичних знань, досвіду, навичок та умінь проектних, монтажних, налагоджувальних та експлуатаційних підприємств для широкомасштабного впровадження КГПУ на підприємствах теплопостачання України

# Подолання нормативних бар'єрів



НАЦІОНАЛЬНА КОМІСІЯ, ЩО ЗДІЙСНЮЄ ДЕРЖАВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ У  
СФЕРАХ ЕНЕРГЕТИКИ ТА КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ

- Для стимулювання розвитку розподіленої генерації шляхом законодавчого врегулювання продажу надлишку виробленої електроенергії НКРЕКП внесло зміни до Правил роздрібного ринку електричної енергії (постанова 09.05.2023 № 847).
- Ці зміни забезпечують право всім роздрібним споживачам електричної енергії (як побутовим, так і непобутовим) на продаж надлишку виробленої власною генерувальною установкою електричної енергії електропостачальникам за договірною ціною **в обсязі, що перевищує місячне споживання електричної енергії таким споживачем.**
- **КГПУ**, які будуть застосовуватись котельнями з метою забезпечення їх надійної експлуатації та власного енергоспоживання, **мають законодавче підґрунтя для здійснення енергопостачання навколишніх об'єктів критичної інфраструктури під час аварійного знеструмлення.**

# ВИСНОВКИ

- Об'єднана енергосистема України (ОЕС) наполегливо руйнується російським агресором, що обумовлює довготривалі перерви електропостачання об'єктів критичної інфраструктури, підприємств та населення
- Одним із шляхів підвищення надійності ОЕС України є збільшення в її складі частки розподіленої генерації шляхом широкого впровадження когенерації
- Концептуальна ідея - перетворення існуючих об'єктів критичної інфраструктури із споживачів електроенергії в її виробників - постачальників
- В умовах дефіциту часових, матеріальних та фінансових ресурсів такими об'єктами можуть стати котельні СЦТ України з їх існуючою інфраструктурою електропостачання та паливопостачання
- Електроенергетичний потенціал розподіленої генерації на котельнях СЦТ України досягає до 2633 МВт (для когенераційних газопоршневих установок)
- Сучасні енергоефективні технології з супутнім виробництвом теплової енергії
- Підвищення гнучкості ОЕС України внаслідок високої маневреності газопоршневих електрогенераторів
- ІЗЕ НАН України запропонував РНБО утворити робочу групу з реалізації запропонованих заходів короткотермінового формування розподіленої генерації на об'єктах критичної інфраструктури України
- ІЗЕ НАН України готовий прийняти активну участь у роботі цієї робочої групи та надати висококваліфіковану науково-технічну підтримку



**Національна Академія наук України  
Інститут загальної енергетики**

**Дякую за увагу!**

**Доповідач: ТЕСЛЕНКО Олександр Іванович,**

**провідний науковий співробітник відділу трансформації  
структури паливно-енергетичного комплексу**