

УДК 620.98

**Р.В. ГРИГОР'ЄВ, аспірант**

Інститут загальної енергетики НАН України, Київ

## **МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО АНАЛІЗУ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЛОКАЛЬНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА БАЗІ МІКРО-ТЕЦ ЯК СКЛАДОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ**

*Розглянуто методичні особливості оцінки економічної доцільності масового впровадження індивідуальних систем електро- та теплозабезпечення у приватному секторі енергоспоживання.*

### **Вступ**

Однією з тенденцій розвитку енергетики світу в період її ринкового реформування є децентралізація виробництва електричної і теплової енергії, що одержала бурхливий розвиток починаючи з 90-х років минулого століття. Найбільш ефективний напрям децентралізації пов'язаний з використанням установок і систем комбінованого виробництва електричної енергії і теплоти на основі використання газотурбінних та газопоршневих двигунів, паливних елементів потужністю від кількох десятків кВт до кількох мегават, працюючих, переважно на природному газі. Такі установки забезпечили у 1994–2000 рр. подвоєння сумарної потужності комбінованого виробництва у країнах Європи, США та Японії [1,2]. Вони встановлювались, переважно, у секторах кінцевого енергоспоживання – на промислових підприємствах, в районних квартальних та будинкових системах централізованого теплопостачання, у комерційному секторі (торгівля, готелі, ресторани, пральні, офіси тощо).

Впровадження систем децентралізованої енергетики супроводжувалося поступовим зниженням одиничної потужності енергогенеруючих установок у міру їх пристосування до потреб відповідного сектора енергоспоживання. На початку двадцятого століття децентралізація дійшла до рівня окремих офісних та житлових приміщень. Це привело до появи особливого класу когенераційних установок надмалої потужності – від кількох сотень ват до кількох кіловат, що характеризуються в науково-технічній літературі терміном мікро-ТЕЦ (micro CHP).

Установки та системи такого класу знахо-

дяться лише на початковій стадії свого розвитку. Однак проблемам їх розробки, впровадження та розвитку присвячено вже більше 200 публікацій у світовій науково-технічній періодиці.

Це свідчить про високу актуальність досліджень, спрямованих на висвітлення перспектив розвитку комбінованого виробництва енергії на базі мікро-ТЕЦ в Україні.

### **Вихідні передумови**

Перше практичне впровадження мікро-ТЕЦ знайшли у Японії дякуючи зусиллям місцевих газових компаній, які ще з початку 80-х років минулого століття за підтримки уряду провадили систематичні розробки та впровадження установок комбінованого виробництва електричної енергії у комерційних (універмаги, ресторани, готелі, офіси тощо) споживачів і населення з метою розширення ринку збуту природного газу. Перше практичне впровадження установчої партії з 4000 поквартирних газопоршневих мікро-ТЕЦ електричною потужністю 1 кВт, вироблених фірмою HONDA за підтримки газової компанії м. Токіо, відбулося у 2003 році. Обсяг реалізації таких установок, відомих під торгівельною маркою "Ecowill" поступово зростав, досягнувши у 2005 р. 10 тис. одиниць, а у 2007 році – 20 тис. У 2008 р. загальна кількість встановлених мікро-ТЕЦ "Ecowill" у Японії за даними Японської газової асоціації становила 66 264 одиниці.

Поряд з поршневими установками, у Японії активно підтримуються розробки мікро-ТЕЦ на основі паливних елементів (ПЕ), що розпо-

чаті з ініціативи газових компаній наприкінці 80-х років.

Перша модель ПЕ на полімерних мембранах була розроблена в 1999 році. Вона знайшла переважне використання у автомобільній промисловості. В 2005 р. компанії Tokyo Gas, Nippon Oil та інші паливні компанії Японії презентували розробку промислового зразка когенераційного паливного елемента побутового призначення з протон-обмінною мембраною.

У 2006 року більш як 500 одиниць такого обладнання було встановлено у приватному секторі Японії у рамках здійснення широкомасштабного демонстраційного проекту. Сьогодні кількість таких установок зросла до 2187 одиниць. Серійне виробництво побутових паливних елементів буде здійснюватися фірмами Ebara Ballard, Matsushita, Toshiba, Toyota and Sanyo. Крім того, у Японії фірмою Kuosera розроблений промисловий зразок паливного елемента на твердооксидній мембрані (ТО). Разом з Osaka Gas фірма презентувала когенераційний паливний елемент потужністю 1 кВт, а разом з Tokyo Gas — 5 кВт. У 2008 р. працювало 29 таких установок [3].

Впровадження індивідуальних мікро-ТЕЦ в Європі та США розпочалося з продаж мікрогенераторів типу "Ecowill". Пізніше європейські фірми почали власний випуск мікро-ТЕЦ на базі газопоршневих двигунів, газових двигунів Стірлінга та парових двигунів циклу Ренкіна із зовнішнім підведенням тепла.

Станом на початок 2007 р. загальна встановлена потужність мікро-ТЕЦ з одиничною потужністю до 6 кВт досягла у світі, за оцінками Delta Energy & Environment, 38 МВт проти 31 МВт на початку 2006 року та 24 МВт на початку 2005 р. [4]. На початку 2009 року їх загальна потужність досягла, за оцінками, більш як 80 МВт.

Основними виробниками мікро-ТЕЦ на світовому ринку є п'ять фірм (табл.1), що здійснюють випуск установок на базі газопоршневих ДВЗ та двигунів Стірлінга.

Крім того, на різних стадіях входження до ринку мікро-ТЕЦ знаходяться ще кілька фірм. Фірма OTAG (Німеччина) пропонує мікро-ТЕЦ типу LION на базі парового циклу Ренкіна електричною потужністю 3 кВт, призначену для односімейних будинків. У 2005 р. фірма заявила про продаж 600 таких установок. Фірма Sunmachine (Німеччина) просуває на ринок

мікро-ТЕЦ на базі двигуна Стірлінга на біопаливі потужністю 3 кВт (е).

Сучасна структура світового ринку мікро-ТЕЦ потужністю до 6 кВт виглядає наступним чином.

Більш як три чверті мікро-ТЕЦ реалізується у Японії. Найбільшим попитом користуються тут установки Ecowill. Обсяг продаж мікро-ТЕЦ Genelight, що також зростає з року в рік становить кілька сотень одиниць. У Німеччині, ринок якої становить близько 20% світового, реалізується щорічно кілька тисяч установок DACHS та Ecorpower. Певна активність у впровадженні мікро-ТЕЦ має місце у Великобританії, де на стадії тестових випробувань у приватному секторі знаходяться 1000 установок типу WhisperGen. Портфель замовлень на такі установки перевищує 80 тис. одиниць. В інших країнах Європи та у США мікро-ТЕЦ хоча і присутні на ринку, але ще не знайшли помітного попиту.

Фірми, виробники мікро-ТЕЦ різних типів, розраховують на значне зростання попиту на свою продукцію. Перспективні обсяги випуску мікро-ТЕЦ, заплановані виробниками цієї техніки (рис. 1), дозволяють вести мову про кратне зростання їх потужності у найближчі роки.

Результати прогнозних досліджень, проведених ЄС та США вказують на значний потенціал можливого використання мікро-ТЕЦ як засобу боротьби з глобальним потеплінням.

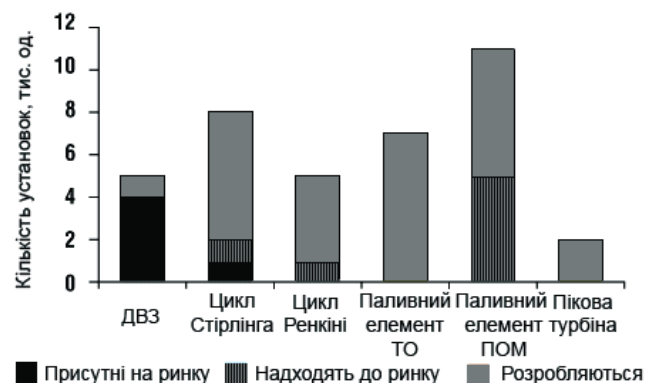


Рис. 1. Фактичні та перспективні обсяги річного випуску мікро-ТЕЦ різних типів, заплановані фірмами-виробниками (Джерело: – Delta Energy & Environment)

Як і інші установки когенерації, мікро-ТЕЦ на 15–30% скорочують викиди парникових газів порівняно з котельними та КЕС. При цьому стабільність споживання енергії у побутовому секторі, на відміну від промислового та комерційного секторів, де енергоспоживання зале-

жить від кон'юктурних коливань на ринках товарів, додає мікро-ТЕЦ додаткових переваг.

Якщо врахувати високу актуальність боротьби з глобальним потеплінням та доволі жорсткі міжнародні обмеження щодо викидів парникових газів від об'єктів енергетики, які плануються до прийняття на Міжнародній конференції з питань змін клімату у грудні 2009 року у Копенгагені за рекомендаціями МЕА [5], екологічний ефект від впровадження мікро-ТЕЦ дозволяє розраховувати на підсилення їх політичної підтримки.

Дослідження можливих обсягів впровадження мікро-ТЕЦ у побутовому секторі та доцільних заходів підтримки їх розвитку провадяться у багатьох країнах світу.

За результатами соціологічних опитувань, проведених у США, бажання щодо встановлення мікро-ТЕЦ у власних оселях висловлює 92% з більш як 100 млн домовласників. Це означає, що технічний потенціал реалізації таких установок є порівняним з потужністю існуючих АЕС країни.

Згідно з даними прогнозних досліджень, що систематично проводяться у ОЕСР (Micro-MAP. Mini and micro CHP –market assessment and development plan, Summary Report. European Commission SAVE Programm, DGTREN), економічно досяжний потенціал виробітку електричної енергії мікро-ТЕЦ оцінюється у різних країнах Європи у 1–12% від загального обсягу прогнозованого виробітку електричної енергії. При цьому загальний економічний потенціал впровадження мікро-ТЕЦ у період до 2020 р. у ЄС прогнозується на рівні 12,5 млн установок, а екологічний ефект від їх впровадження оцінюється скороченням викидів вуглецю на рівні 7,8 млн. т в.е. Потенціал країн Східної і Центральної Європи оцінюється у згаданій роботі у 670 тис. установок з ефектом скорочення викидів на рівні 1 млн.т в.е.

Основна проблема, що виникає на шляху масштабного впровадження мікро-ТЕЦ, пов'язана з їх високою вартістю, яка складає, за різними даними від 2,5–3,5 тис. USD для газопоршневих установок та до 10–15 тис. USD для паливних елементів. Вона вирішується сьогодні наданням значних пільг і преференцій власникам подібних установок у розрахунку на подальше зниження вартості по мірі їх технологічного доопрацювання. У Німеччині вони мають форму прямих тарифних надбавок на

реалізацію надлишкової електричної енергії від мікро-ТЕЦ, державних субсидій покупцям такої техніки. У Японії до подібних заходів додаються тарифні знижки з боку газових компаній.

Зрозуміло, що зовнішні умови розвитку мікро-ТЕЦ, як і інших прогресивних, але доволі дорогих видів низьковуглецевої енергетики в розвинених країнах світу та країнах з перехідною економікою, до яких належить і Україна, суттєво відмінні.

У зв'язку з цим, доцільність розвитку локальної енергетики у житловому секторі України, як і умови підтримки такого розвитку, повинні бути ретельно обґрунтовані.

Загальні проблеми децентралізованого енергопостачання в Україні та інших країнах СНД на базі когенераційних установок малої та середньої потужності розглянуті у багатьох роботах. Особливості використання таких установок в умовах України, загальні переваги та недоліки децентралізації, техніко-економічні параметри та технічні властивості когенераційних установок різних типів розглядалися, зокрема, у [6–11]. Більшість з цих робіт присвячено обґрунтуванню доцільності використання окремих типів установок малої генерації промислового сектора економіки з використанням відомих методів оцінки їх інвестиційної привабливості за критеріями прибутковості інвестиційних вкладень. При цьому вважається, що такі установки призначаються для комерційного виробництва електричної енергії і теплоти, тобто вони належать до сектора генерації енергії.

Узагальнений системний аналіз економічної доцільності використання когенераційних технологій у секторі кінцевого споживання енергії, в основі якого лежить критерій найменших витрат споживача на власне енергозабезпечення, наведений, зокрема, у роботі [11]. Однак ця робота не враховує специфічні особливості фінансування та експлуатації когенераційних установок у приватному житловому секторі електроспоживання.

### Цілі статті

Основною метою цієї статті є розроблення методичних аспектів визначення необхідних умов масового впровадження мікро-ТЕЦ у житловому секторі України.

### Матеріал дослідження

Масове запровадження мікро-ТЕЦ, як і інших децентралізованих джерел генерації, що задовольняють необхідним умовам технічної та екологічної безпеки (пожеже- та вибухобезпечність, нетоксичність, відсутність надлишкового шуму тощо), є можливим лише тоді, коли економічні переваги подібних установок порівняно із централізованим енергопостачанням стають очевидними для приватного власника.

Забезпечення таких умов передбачає вдалий вибір типу та величини одиничної потужності мікро-ТЕЦ, виходячи з типових характеристик житлового сектора країни, оптимальних режимів її використання з огляду на розподіл навантажень у часі та умови взаємодії мікро-ТЕЦ із енергетичною системою. Крім того, установка має мати достатньо високий експлуатаційний ККД генерації електричної і теплової енергії, можливість використання в усіх необхідних режимах її експлуатації і, головне, бути досяжною для масового покупця, з огляду на типовий рівень його доходів.

Якщо такі вимоги виконуються, головним фактором економічності установки стають зовнішні умови її експлуатації — ціни на електричну енергію та паливо, що використовується нею. Важливими стають також умови фінансування покупки установки.

У кінцевому підсумку, власник установки повинен одержати певну вигоду від її використання. Вона визначається порівнянням вартості власного енергозабезпечення і забезпечення від мереж енергопостачальної компанії.

### Вартість індивідуального електропостачання

Підсумкова вартість енергозабезпечення від власного джерела електричної енергії на органічному паливі визначається у загальному випадку за формулою:

$$C_e = C_f + C_r + C_i, \quad (1)$$

Таблиця 1. Основні виробники мікро-ТЕЦ (Джерело – Delta Energy & Environment)

Позначення установки	Виробник	Тип установки	Електрична потужність, кВт
DACHS	Sener Tec	ДВЗ	5,5
Ecopower	PowerPlus Technology	ДВЗ	4,7
Ecowill	Honda та партнери	ДВЗ	1,0
WhisperGen	Whisper Tech	Двигун Стірлінга	1,2
Genelight	Yanmar	ДВЗ	5,0

де:

$C_f = c_f^* \cdot B$  — паливна складова вартості електроенергії;

$c_f^*$  — ціна палива;

$B = E / \eta$  — витрата палива на електрозабезпечення, кВт г;

$E$  — виробіток електричної енергії на органічному паливі;

$\eta$  — електричний ККД генеруючої установки;

$C_r = r \cdot K$  — плата за обслуговування системи електрозабезпечення;

$r$  — питома вартість обслуговування, грн/(кВт рік)

$C_i$  — інвестиційна складова витрат;

$P$  — встановлена електрична потужність, кВт;

$K$  — підсумкова вартість системи енергозабезпечення.

Інвестиційна складова витрат визначається вартістю основного і допоміжного обладнання, необхідного для облаштування системи електрозабезпечення та паливопостачання. Крім того, вона залежить від фінансових умов їх придбання та оплати.

Оскільки установки індивідуального електрозабезпечення можна віднести до класу побутової техніки підвищеної вартості, їх масове впровадження населенням, що не має вільних капіталів, можливе лише за придбання на умовах споживчого (товарного) кредиту.

У цьому разі інвестиційна складова вартості визначається за формулою:

$$C_i = k \cdot P \cdot a \quad (2)$$

де:  $k$  — питома вартість системи електрозабезпечення, грн/кВт,  $a$  — коефіцієнт способу фінансування, що у даному випадку визначається за формулою:

$$a = \frac{1}{T_{кр}} + \frac{p}{100}, \quad (3)$$

де:  $T_{кр}$  — термін повернення кредиту (років),  $p$  — відсоток річних.

Для потенційних власників системи, що мають вільні кошти на її придбання, існує альтернатива — одержувати депозитні відсотки,

вклавши кошти у надійний банк, або витратити їх на створення системи індивідуального енергозабезпечення. Якщо буде обраний другий варіант, то власник установки не отримує депозитної платні за відповідний рік від вкладання коштів, рівних вартості системи електрозабезпечення. При цьому:

$$a = \frac{d}{100}, \quad (4)$$

де:  $d$  – депозитна ставка, %/рік.

Депозитна ставка внесків у надійні банки нижча, ніж відповідна кредитна ставка. Тому привабливість індивідуального енергопостачання для заможних верств населення є більш високою, ніж для населення, що не має достатніх вільних коштів. У країнах з перехідною економікою більшість населення не має достатніх вільних коштів. Тому при формулюванні необхідних умов масового впровадження мікро-ТЕЦ коефіцієнт умов фінансування слід обчислювати за формулою (3).

Одноразові витрати на устрій системи індивідуального електрозабезпечення повинні включати, окрім витрат на електротехнічне обладнання, також витрати на пристрої, що необхідні для постачання палива. Якщо у якості палива використовується природний газ, ці витрати являють собою плату за під'єднання до газової мережі, розмір якої визначається чинними умовами газопостачання населення.

Виходячи з вищезазначеного, питома вартість (ціна) самозабезпечення електричною енергією може бути визначеною за формулою:

$$c_e = c_f \cdot \frac{1}{\eta} + c_i, \quad (5)$$

де:

$\eta$  – ККД установки;

$c_i = \frac{k}{T} \cdot \frac{a+r}{\phi}$  – умовно постійна складова ціни (у подальшому для спрощення – інвестиційна складова ціни);

$\phi$  – коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП).

Враховуючи практично 100% електрифікацію селітебних територій України, практично у всіх випадках існує технічна можливість електрозабезпечення споживачів від централізованих мереж. Тому техніко-економічні показники індивідуального електропостачання майже завжди потребують порівняння з відповідними показниками електропостачання від мереж.

Вартість централізованого електропостачання визначається тарифами на електричну енергію для населення. Для новобудов, а також для вторинного житла, що проходить реконструкцію із збільшенням встановленої потужності електрообладнання, важливе значення має також інвестиційна складова вартості, яка відшкодовується у формі плати за підключення. Реальна вартість підключення до мереж може бути зіставною з вартістю обладнання системи власного електрозабезпечення. Тому логічно припустити, що механізм її фінансового відшкодування є таким, як і у випадку індивідуальної системи.

Таким чином, питома вартість централізованого електрозабезпечення, як і індивідуального може визначатися за формулою:

$$c_e^o = c_e^* + c_i^o, \quad (6)$$

де:

$c_e^*$  – тариф на електричну енергію для населення;

$c_i^o = \frac{k^*}{T} \cdot \frac{a^*}{\phi}$  – інвестиційна складова ціни;

$k^*$  – питома вартість підключення до мереж, грн/кВт;

$a^*$  – коефіцієнт способу фінансування.

Порівнюючи (5) та (6) між собою, можна визначити необхідну умову енергетичної ефективності індивідуального електрозабезпечення:

$$\eta \geq \frac{c_f^*}{c_e^* - (c_i - c_i^o)}, \quad (7)$$

де:

$$c_i - c_i^o = \frac{k \cdot (a+r) - k^* \cdot a^*}{\phi \cdot T}. \quad (8)$$

### Особливості врахування ефекту когенерації

Ефективність генерації електричної енергії, як це добре відомо, може бути підвищена за рахунок корисного використання теплоти, що виділяють установки генерації електричної енергії. Генеруючі установки, оснащені відповідними системами утилізації теплоти, іменуються когенераційними. На сьогодні існує багато методів визначення ефективності установок когенерації з виробітку електричної енергії і теплоти, що виходять з тих чи інших практичних або економічних міркувань. Але об'єктивно визначити ці витрати дозволяє тер-

динамічний метод, що дозволяє розрахувати відповідні показники ефективності на підставі закону збереження та перетворення енергії та другого закону термодинаміки [13]. Згідно з термодинамічним методом, загальна витрата палива, що споживається когенераційною установкою, розподіляється між електричною і тепловою енергією за формулами [14]:

$$B_E = B \cdot \frac{E}{E + Q \cdot \omega} \quad (9)$$

$$B_T = B \cdot \frac{Q \cdot \omega}{E + Q \cdot \omega} \quad (10)$$

де:  $B$  – фактична витрата палива;  
 $B_e$  – витрата палива на відпуск електричної енергії;  
 $B_T$  – витрата палива на відпуск теплоти;  
 $E, Q$  – фактичні обсяги відпуску електричної енергії і теплоти у однакових енергетичних одиницях;  
 $\omega$  – коефіцієнт термодинамічної цінності теплоти, що може визначатися за формулою:

$$\omega = \frac{\eta_o - \eta}{1 - \eta} \quad (11)$$

де:  
 $\eta_o$  – теоретичний ККД граничного циклу установки когенерації, що визначається типом та параметрами її роботи;  
 $\eta$  – електричний ККД когенераційної установки, що визначається так само, як і для установки без когенерації.

Враховуючи (10) та (11), можна одержати формулу для ККД установки когенерації з відпуску електричної енергії:

$$\eta_e = \eta + (\eta_o - \eta) \cdot \varphi_T \quad (12)$$

де:  
 $\eta_e^o$  – електричний ККД когенераційної установки, що визначається так само, як і для установки без когенерації;  
 $\varphi_T$  – коефіцієнт використання встановленої теплової потужності, що визначається за формулою:

$$\varphi_T = \frac{Q}{B \cdot (1 - \eta)} \quad (13)$$

Витрата палива у останній формулі виражається у тих же енергетичних одиницях, що і корисний відпуск теплоти.

Підставляючи (12) у (7) можна одержати умову доцільності впровадження когенераційних мікро-ТЕЦ:

$$\eta_e = \eta + (\eta_o - \eta) \cdot \varphi_T \geq \frac{c_f^*}{c_e^* - (c_i - c_i^o)} \quad (14)$$

Реальна вартість приєднання до електричних мереж може бути оцінена за відповідними методиками укрупнених оцінок або за номінальними значеннями, що враховують соціальні пільги для населення.

Одержані умови доцільності зручно аналізувати у графічному вигляді. На полі графіка, що будується у вісях  $\eta - c_e^*/c_f^*$ , зображується система параметричних кривих  $\eta = f(c_e^*/c_f^*, \bar{c}_i)$ , які відповідають можливому ряду постійних значень параметра відносної вартості ( $\bar{c}_i = \text{const}$ ). Ці криві визначаються з формули (7), виходячи з умови рівноekonomічності мікро-ТЕЦ і централізованого електрозабезпечення (позначка нерівності відкидається). Кожна конкретна установка мікрогенерації, що характеризується відомими значеннями електричного ККД та питомої вартості, зображується на полі графіка окремою крапкою. Зовнішні умови функціонування установки відображуються на графіку вертикальною прямою, що відповідає відношенню цін (тарифів) на електричну енергію та паливо, що склалися. Якщо крапка, яка відповідає параметрам установки, опиниться лівіше цієї вертикалі, її використання вважається економічно доцільним, а якщо правіше – недоцільним.

Ілюстрацію вищезначеного наведено на рис. 2. Для побудови графіка використані техніко-економічні характеристики типової системи енергопостачання житлової квартири на основі найбільш популярної мікро-ТЕЦ типу "Ecowill" [15,16] та фактичні значення цін на електричну енергію та природний газ для побутових споживачів у країнах Європейського Союзу і в Україні.

З наведених даних можна бачити, що умова економічної доцільності використання мікро-ТЕЦ у Швеції не виконується. За поточних цін на електричну енергію і природний газ для побутових споживачів, що склалися в Україні у 2008 році, використання мікро-ТЕЦ зазначеного класу мало б бути економічно доцільним. Однак, враховуючи нестабільний характер сучасних умов ціноутворення в Україні, що характеризується значним впливом соціально орієнтованої політики з боку держави, цілком вірогідними є подальші зміни цін на електрич-

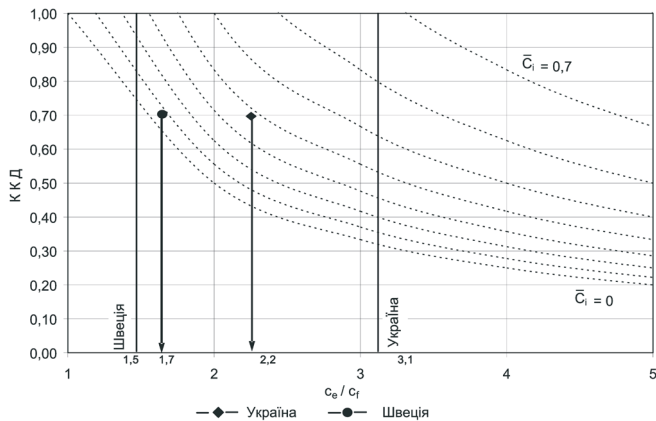


Рис. 2. Графічне визначення зон економічної доцільності використання мікро-ТЕЦ

ну енергію та природний газ для побутових споживачів. Якщо такі зміни приведуть до переважного зростання цін на електричну енергію, економічна привабливість мікро-ТЕЦ зросте. У протилежному випадку вона знизиться. Використовуючи графік (рис. 2), неважко визначити граничне значення відношення цін, нижче якого мікро-ТЕЦ можуть працювати тільки за умов надання державних пільг. Якщо відношення цін буде нижчим за граничне значення, графік дозволяє визначити необхідний розмір державних субсидій власникам мікро-ТЕЦ.

З використанням графічного представлення можна відносно просто визначити ділянку економічних режимів експлуатації мікро-ТЕЦ. Побудова такої ділянки ілюструється на прикладі, наведеному на рис.3.

Для мікро-ТЕЦ попередньо визначається припустимий діапазон ефективності з виробітку електричної енергії. Нижня його границя відповідає нульовому значенню теплового навантаження (суто електричний режим), а верхня – максимальному використанню теплоти, що виділяє установка (граничний теплофікаційний режим). За відомим значенням параметра визначаються точки 1 та 3, що відповідають зазначеним граничним режимам, та точка 2, що відповідає граничному економічному режиму використання мікро-ТЕЦ за даним значенням відношення цін на електричну енергію і паливо, визначається зовнішніми умовами. При цьому відрізок між абсцисами точок 1 та 2 визначить діапазон зовнішніх цін, що припускає економічну роботу мікро-ТЕЦ, а відрізок між ординатами цих точок – припустимий діапазон ефективності виробітку електричної енергії.

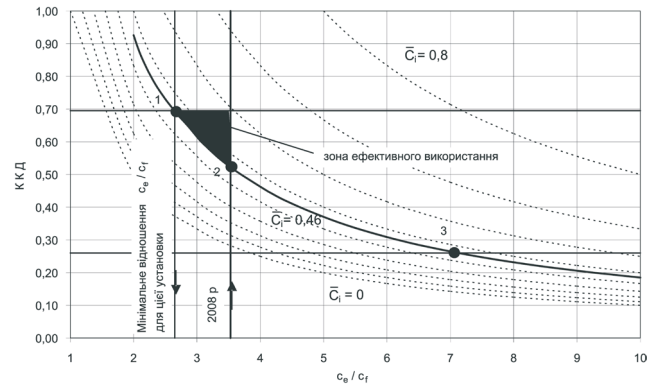


Рис. 3. Визначення зон економічного використання мікро-ТЕЦ

Таким чином, визначення доцільності масового використання джерел локальної генерації у тій чи іншій країні можливе лише на основі відповідних прогнозів змін цін не тільки на основні види палива, що використовуються в локальних установках, але й ціни електричної енергії від мереж. Прогнозні рівні цін на електричну енергію визначаються, у свою чергу, на основі оцінки змін цін на первинні види енергії для електричних станцій, вірогідних змін структури генерації за видами палив та типами електростанцій тощо.

Отже, для відслідковування впливу можливих змін цін на економічну доцільність індивідуального електрозабезпечення необхідно мати:

- економіко-математичну модель ціноутворення у секторі централізованого електропостачання, яка б відтворювала залежність цін на електричну енергію для населення від цін на основні види палива;
- модель прогнозу цін на основні види палива для електричних станцій та установок локальної генерації.

Розроблення відповідних моделей є предметом наступних робіт з оцінок перспектив впровадження локальної генерації в Україні.

Також слід зазначити, що використання мікро-ТЕЦ у тій чи іншій країні потребує окремого вибору типових значень одиничної потужності, виходячи з характерних параметрів енергоспоживання та теплотехнічних параметрів житла, а також оптимальних режимів їх використання.

У разі масового впровадження мікро-ТЕЦ їх економічний потенціал має визначатися з урахуванням зворотної дії на ціноутворення у електроенергетичному секторі.

## ВИСНОВКИ

1. Розвиток індивідуальних систем тепло- і електропостачання житлового фонду на основі мікро-ТЕЦ являє собою новий перспективний напрям енергозбереження, що передбачає скорочення викидів парникових газів, що знаходиться на початковій стадії впровадження.
2. Доцільність та перспективи впровадження мікро-ТЕЦ суттєво залежать як від вдалого вибору їх технічних параметрів, що залежить від специфічних характеристик енергоспоживання у житловому фонді, так і від зовнішніх факторів – цін на паливо, електроенергію з мереж, енергетичне обладнання установок, вартість підключення до мереж для прийому або видачі потужності, умов товарного кредитування тощо. У зв'язку з цим доцільність, оптимальні режими та економічний потенціал використання таких систем мають визначатися для кожної країни окремо.
3. У роботі запропонований методичний підхід щодо визначення необхідних умов масового впровадження мікро-ТЕЦ у житловому секторі, виходячи з критерію мінімуму витрат на електропостачання типовим домовласником.
4. Розроблений підхід може використовуватись у подальших прогнозах дослідженнях, спрямованих на визначення оптимальних напрямів, обсягів та режимів використання мікро-ТЕЦ в Україні.
5. Проведення таких досліджень потребує врахування ефектів взаємодії між сукупністю мікро-ТЕЦ і енергетичною системою, а також порівнянь з альтернативними напрямками енергозабезпечення житлового сектора.

1. *Thomas Kerr*. Global CHP/DHC potencial // Cogeneration & on-site power production.– 2008, v.9, Issue: 2.
2. Combined Heat and Power Production in Europe. Summary of Statistics. / Luxembourg: Office for Official Statistics Publication of the European Communities.– 2001
3. *T. Kerr* CHP/DHC Country Scorecard: Japan // The Report of EIA International CHP/DHC Collaborative Programm. EIA.– 2008.– P. 12
4. *V. Ravindran*. Micro-CHP in Europe // Cogeneration & on-site power production.– 2009, v.10, Issue: 3.
5. Перспективные энергетические технологии. В поддержку плана действий G8. Сценарии и стратегии до 2050 г. – МЭА. – 2008.
6. *Андрущенко А.И.* Выбор рационального цикла и тепловой схемы ГТУ-ТЕЦ для совместной работы с мелкими котельными // Проблемы энергетики, 2000, № 1–2. – С. 56–62.
7. *Грачев А., Счисляев С., Олейников С., Рассохин В., Ходак Е.* Автономные энергоустановки для выработки электрической и тепловой энергии // Газотурбинные установки, сентябрь – октябрь 2003. – С. 28–31.
8. *В.И. Особов, И.В. Особов.* К вопросу об инвестиционной привлекательности технических проектов газотурбинных и парогазовых энергетических установок // Конверсия в машиностроении. – 2000. – № 1. – С. 53–58.
9. *Вербовский В.С., Павлюк Н.Ю.* Децентрализация электроснабжения с помощью автономных электростанций (Обзор) // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – № 1. – С. 26–35.
10. *Котлер В.Р.* Мини-ТЕЦ: зарубежный опыт // Теплоэнергетика № 8, 2006. – С. 69–71.
11. *В.А. Муци, Н.Ф. Филипповский, С.М. Степин, С.Л. Сысков, Ю.Г. Лекомцева.* Модернизация существующих производственных котельных в мини-ТЕЦ // Новости теплоснабжения № 4 (апрель), 2005 г. – С. 28–30.
12. *Дубовський С.В., Туваржієв В.К., Ленчевський Є.А., Коберник В.С.* Багатофакторний аналіз і вибір когенераційних теплоелектростанцій потужністю до 25 МВт для інвестиційних проектів. // Праці ІЕД НАН України, 2004, №1(7).– С. 99–108.
13. *Дубовской С.В.* Термодинамический метод разделения затрат в комбинированных энергетических процессах // Промышленная теплотехника. – 1995. –Т.17.– № 1–3. – С. 85–92.
14. *Дубовський С.В.* Методичні особливості оцінки питомих характеристик теплофікаційних установок на базі газових двигунів // Проблеми загальної енергетики.– 2006.– №14. – С. 43–49.
15. *Tuba G`zel, M. Hakan Hocaoglu.* An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems // Electric Power Systems Research. № 79, 2009.
16. *Joachim Lehner, Tobias WeiBbach.* Global and local effects of decentralised electric power generation on the grid in the Western Balkan Countries (WBC) // Energy 34, 2009.