

## КОГЕНЕРАЦІЯ — ОСНОВА ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ

Л.Ю.Козак

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42351;  
e-mail: public@nuing.edu.ua

*Рассматривается вопрос эффективного использования топлива. Если топливо, которое сегодня сжигается для теплоснабжения и горячего водоснабжения в коммунальном хозяйстве, эффективно использовать путем когенеративного производства электроэнергии и теплоты, то в Украине можно было бы отказаться от электроэнергии, что сегодня производят атомные и тепловые электростанции.*

Сьогодні світ знаходиться напередодні другої світової енергетичної кризи. Починаючи з 2005 року, ми вступили в нову еру – почали закінчуватися запаси нафти і газу. Вперше за багато років приріст видобутку почав відставати від темпів споживання, і спрацювали ринкові обмежувачі – ціни на вуглеводневе паливо стрімко пішли вгору. За порівняно короткий термін вони виросли в 2 рази. Можна очікувати, що за 2-3 наступні роки ці цифри ще раз подвояться, досягнувши рівня 100–120 доларів за барель [1].

Нова енергетична криза несе загрозу й для України, якщо країна найближчим часом не виробить злагожену енергетичну політику, вважає міжнародне рейтингове агентство Fitch [1].

За десять років дії державної політики енергозаощадження в Україні, по суті, не створено нічого – немає довгострокових програм, дієздатних законів і нормативної бази, що фінансуються, немає бюджетної, фінансової, податкової і господарської політики енергозаощадження України для умов ринкової економіки. Відсутні органи державного менеджменту з регуляторними функціями, немає моніторингу прямих і непрямих витрат, які сьогодні несе Україна, залишаючись енергетично найбільш неефективною країною в світі. Сьогодні практично відсутні стимули і мотивація для зниження енерговитрат в суспільному секторі України – бюджетній сфері, комунальних господарствах і житлі. Сильно відстає енергозаощадження в промисловому секторі і енергетиці – капіталовкладення в цю сферу відносно невеликі і зростають поволі через непривабливий інвестиційний клімат [1].

Країни Заходу виробили нову енергетичну політику для 21 століття, засновану на диверсифікації енергоджерел, заміщенні вуглеводневих видів палива на альтернативні джерела і на ефективне їх використання. В світі почалася екологізація, децентралізація і диверсифікація енергетики. Ми повинні приєднатися до цієї політики і ступити на новий для України шлях капітальної модернізації основних фондів,

*The fuel is spending today at Ukraine for heating and hot water-supply can use also for manufacture of the additional electric power. In this case we can manufacture such amount of the electric power that will possible to close all nuclear and thermal condenser power stations.*

створення нових законів в енергетиці і нового мислення.

Успішний розвиток економіки України значною мірою залежить від вирішення питання з енергоносіями. Недостатня кількість власних енергоносіїв змушує до їх імпортування. Сьогодні близько 20% валового внутрішнього продукту витрачається на імпорт енергоносіїв. Тому найважливішим завданням є питання їх економії шляхом ефективного і ощадного використання. Енергозаощадження повинно стати основним пріоритетом енергетичної політики України, оскільки скорочення енергоспоживання за рахунок енергозаощадження означає скорочення імпорту енергоносіїв. Витрати на використання потенціалу енергозаощадження у кілька разів нижчі від вартості поставок імпортного палива, тому від підвищення енергоефективності досягається значний економічний ефект.

Один з шляхів економії енергоносіїв – це когенерація. Когенерація — комбіноване виробництво електричної та теплової енергії є способом одночасного виробництва електричної і теплової енергії в межах одного технологічного процесу в результаті спалювання палива. Тільки запровадження когенерації для всіх базових галузей господарювання допоможе знизити витрати при виробництві електричної і теплової енергії. Когенерація не є єдиною перспективною технологією виробництва енергії, але вона поза сумнівом знаходиться в першому ешелоні уваги багатьох держав і бізнесу, стурбованого енергетичною кризою початку 21 століття, що швидко насувається.

Відповідно до теоретичних основ технічної термодинаміки, переваги когенерації полягають у підвищенні термічного та ексергетичного коефіцієнтів корисної дії. Розглянемо це більш детально.

Якщо відповідно до першого закону термодинаміки відмінність між різними формами руху матерії – *теплотою* і *роботою* немає, то за другим законом термодинаміки *теплота* і *робота* якісно різні форми руху матерії. *Теп-*

лота – хаотична форма руху. Робота – упорядкована форма руху.

Крім того, відповідно до другого закону термодинаміки *теплота має різну цінність* (Так, теплота, для прикладу, в кількості 1 кДж і температурою 2000<sup>0</sup>С здатна розплавити відповідну кількість металу чи нагріти воду до кипіння. Але ця ж кількість теплоти при температурі 120<sup>0</sup>С здатна тільки закип'ятити воду. Очевидно, що у цьому прикладі ми маємо справу з теплою різної якості, а отже і цінності) залежно від температурного рівня і внутрішнього стану (що характеризується ступенем хаотичного руху молекул – ентропією). При перетворенні *теплоти* різної цінності в *роботу* мають місце і різні втрати.

Енергетичні втрати за другим законом термодинаміки це втрата *теплотою* своєї цінності.

Так, теплота, одержана при згорянні хімічного палива, має високу температуру (понад 2000<sup>0</sup>С), є теплою високої цінності і використання її у технологічних процесах з невисокими температурами призводить до втрати її цінності. Ефективність використання теплоти згорання хімічного палива чи будь-якого іншого джерела теплоти високої температури з точки зору її цінності визначається **ексергетичним К.К.Д.**

$$\eta_{\text{ексер}} = \frac{e}{e_q}, \quad (1)$$

де  $e_q = q \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$  – працездатність теплоти –

це та максимально корисна робота, яку можна отримати за рахунок теплоти  $q$ , що відбирається від верхнього джерела теплоти з температурою  $T_1$  за умови, що нижнім джерелом теплоти є навколишнє середовище з температурою  $T_2$  і називається **ексергією**. Циклом, за яким у тепловому двигуні можна одержати максимальну роботу, є ідеальний цикл Карно.

В реальних процесах через їх незворотність, тобто втрату теплою її цінності, частина корисної роботи втрачається і реальна їх ексергія  $e$  є нижчою

$$e = q \left(1 - \frac{T_2}{T_в}\right), \quad (2)$$

де  $T_в$  – середня температура процесів використання теплоти в теплосилових установках.

Розрахунок за наведеними формулами ексергетичного коефіцієнта корисної дії свідчить про більш високі його значення для газової турбіни – 80% і значно менші – для водогрійного котла – 25%. Останні є свідченням неефективного використання високопотенціальної складової теплоти згорання палива при нагріванні води.

З другого боку, термічний К.К.Д. для сучасних газових турбін становить 32-36%, для водогрійних котлів – 90-95%. Отже, оцінка ефективності використання теплоти згорання хімічного палива з точки зору термічного К.К.Д. є свідченням більш високої досконалос-

ті водонагрівальних котлів, ніж газових турбін і є відображенням кількісного використання теплоти. А от оцінка ефективності з точки зору якісного використання теплоти ексергетичним К.К.Д. свідчить, навпаки, про недосконалість водогрійних котлів. Кількісна оцінка ефективності використання теплоти не враховує втрат, пов'язаних з втратами потенціалу теплоти.

Для когенераційних установок термічний К.К.Д. близький до К.К.Д. водонагрівальних котлів (85-90%), а ексергетичний К.К.Д. становить 75-80%, як у газових турбін. Таким чином, когенерація є найбільш ефективною технологією за використанням теплоти згорання палива.

Підсумовуючи, зауважимо, що *спалювання палива з метою одержання теплоти низького потенціалу (невисокої температури), як це має місце у котельнях системи комунального теплозабезпечення, є звичайним марнотратством і нанесенням шкоди навколишньому середовищу*. Щоб уникнути цього, слід використовувати викиди низькопотенційної теплоти після того, як частина високопотенційної теплоти буде використана для перетворення у роботу. Саме такий процес забезпечує когенерація – комбіноване виробництво теплоти і електроенергії.

Сьогодні в нас величезна перевитрата палива має місце через те, що електроенергія виробляється на конденсаційних електростанціях, на яких корисно використовується менше 30% тепла, а близько 70% тепла майже не використовується. У той час, як величезна кількість тепла викидається у навколишнє середовище, у котельнях спалюють велику кількість палива, щоб отримати тепло для опалення будівель і гарячого водопостачання. З цієї метою щороку використовується близько 70-75 млн. тонн умовного палива (т.у.п.). З цієї теплоти майже 30-50% додатково втрачається через експлуатацію малоефективного та зношеного обладнання, аварійний стан інженерних мереж, низькі теплозахисні властивості загороджувальних конструкцій будівель і т. ін. [3].

Більш зрозумілими переваги когенерації виглядають з точки зору економки. При когенерації доходи від реалізації вироблених виробництві електричної і теплової енергії на одиницю кількості спаленого палива зростають порівняно з доходами, отриманими від реалізації вироблених теплоти і електроенергії окремо – у котельнях і на конденсаційних електростанціях. Наприклад (наведені дані відносяться до початку 2006 року), якщо вартість тепла, отриманого з 1 м<sup>3</sup> газу у звичайній котельні, становила 0.687 грн. при вартості газу 0.24 грн./м<sup>3</sup>, а вартість електроенергії, отриманої з 1 м<sup>3</sup> газу на конденсаційній електростанції 0.84 грн. (виходячи з вартості 0,3 грн./кВт-год для підприємств), то вартість одержаної продукції при комбінованому виробництві електроенергії і теплоти з 1 м<sup>3</sup> газу становила 1.272 грн. У середньому вартість виробленої з 1 м<sup>3</sup> газу продукції за комбінованою схемою порівняно зі звичайною була вищою на 35-40% при існуючих цінах на початку 2006 року. Крім економічних переваг, вироблення тепла і електроенергії

комбінованим способом значно знижує витрату палива (близько 30-50%), оскільки дає змогу використовувати тепло, яке майже не використовується на конденсаційних електростанціях.

Когенерація може застосовуватись у будь-якій області діяльності людини, яка вимагає одночасного використання електричної і теплової енергії. Це різні галузі промисловості: виробництво продуктів харчування і напоїв, текстильна промисловість, деревообробка, целюлозно-паперова промисловість, перегонка нафти, виробництво цегли і цементу, металургія, виробництво скла і кераміки, а також енергозабезпечення житлових будинків. У великих містах з щільною міською забудовою доцільне застосування централізованого способу енергопостачання від великих ТЕЦ, а для винесених далеко за межу міста економічніше установлювати індивідуальні когенераційні установки, міні-ТЕЦ.

За даними роботи [3], в Україні на опалення і гаряче водопостачання наявного житлового фонду використовується 70-75 млн. т.у.п., з них близько 34 млрд. м<sup>3</sup> газу. При цьому близько 30-50% виробленої теплоти втрачається через експлуатацію малоефективного та зношеного обладнання, аварійний стан інженерних мереж, низькі теплозахисні властивості загороджувальних конструкцій будівель і т. ін. [3-5].

Ефективне спалювання всього обсягу палива, що використовується сьогодні для опалювання і гарячого водопостачання за когенераційною технологією дало б змогу виробляти близько 200 млрд. кВт-год. електроенергії, що перевищує її виробіток на всіх електростанціях України за рік (у 2005 році було вироблено 189,2 млрд. кВт-год). А за рахунок усунення втрат, що мають місце при теперішньому транспортуванні і споживанні тепла, можна компенсувати затрати теплової енергії, яка необхідна для виробництва електроенергії на ТЕЦ. Таким чином, повне використання на ТЕЦ палива, яке тратиться сьогодні в Україні на опалення і гаряче водопостачання, а також ефективна теплоізоляція тепломереж і будівель дало б змогу забезпечити повністю наші потреби теплом і електроенергією. Впровадження комбінованого способу виробництва теплоти та електроенергії і їх ощадне використання дозволило б відмовитись від виробництва електроенергії на атомних та теплових конденсаційних електростанціях. При цьому відпаде необхідність імпортувати ядерне паливо, і на 30 млн. т.у.п. скоротиться споживання енергоносіїв, які сьогодні спалюють на теплових конденсаційних електростанціях. Значне зниження споживання хімічного та ядерного палива суттєво знизить кількість шкідливих викидів і теплове забруднення навколишнього середовища. Зменшення споживання енергоносіїв на 30 млн. т.у.п. дало б змогу знизити імпорт природного газу на 26 млрд. м<sup>3</sup>, що означало б економію коштів у розмірі 3,4 млрд. доларів. Якщо сюди додати кошти, які йдуть на закупівлю ядерного палива, то економія виявиться ще більшою і становитиме разом близько 5 млрд. доларів на рік [6].

Звичайно, реалізація такого глобального проекту є проблематичною, але наведені розрахунки є свідченням потужного потенціалу енергозаощадження за рахунок ефективного використання високопотенціальної складової теплоти згоряння палива, яке використовується для опалення і гарячого водопостачання. Сьогодні ж у нас частка малих промислових і комунальних ТЕЦ у виробництві тепла складає менше 10%, тоді як частка їх у виробництві тепла у Фінляндії – 43%, у ФРН – 53%, у Голландії – 67%, Великобританії і США – близько 90% [2].

Сказане є доказом того, що такий проект є реальним. Для його реалізації необхідно створити національну програму з перебудови всієї паливно-енергетичної галузі. Потрібні значні кошти для реконструкції теплоенергетичних підприємств, інженерних мереж, проведення заходів щодо теплоізоляції будівель. З іншого боку, внаслідок їх значного фізичного і морального зносу такі зміни так чи інакше необхідно буде проводити вже найближчим часом. Більші затрати на технічне переобладнання теплоенергетичних підприємств з переходом їх на комбіноване виробництво тепла і електроенергії швидко окупляться.

Реорганізації енергетики на орієнтацію вироблення електроенергії і тепла на ТЕЦ сприяє високий ступінь централізації системи постачання тепла і гарячої води. Сьогодні така система теплопостачання житлового фонду викликає справедливі нарікання через її високі втрати і високу вартість. Тому планується проведення децентралізації системи теплопостачання за рахунок використання дахових котелень і індивідуальних нагрівачів. Слід зауважити, що така тенденція є помилковою і шкідливою з точки зору енергозаощадження. Без централізованої системи теплопостачання практично неможливо використовувати переваги когенерації. З іншого боку, недоліки централізованої системи теплопостачання можна усунути, якщо знизити втрати тепла при його транспортуванні і обігріванні будівель.

Застосування труб з пінополіуритановою ізоляцією дасть змогу знизити втрати тепла при його транспортуванні з 20-30% до 1-2%, при нормативних – 8% [5]. Сучасні технології і нові теплоізоляційні матеріали дають змогу зменшити затрати тепла на обігрів будівель на 50-70% [3, 4]. Проведення цих заходів дасть змогу використовувати до 30% теплоти для виробітку електроенергії без зміни сьогоднішніх обсягів споживання палива, що використовується для опалення і гарячого водопостачання. За рахунок коштів, одержаних від реалізації додатково виробленої електроенергії, можна буде покривати витрати на паливо, яке використовують у теплопостачанні. Таким чином, після періоду окупності затрат на реконструкцію, враховуючи експлуатаційні затрати, вартість постачання теплоти для споживачів можна буде знизити у два-три рази.

Належна організація централізованої системи теплопостачання з комбінованою системою виробітку електроенергії і теплоти, крім

економії коштів і палива, має додаткові переваги, оскільки створюватиме можливість маневру потужностями при пікових навантаженнях і в екстремальних ситуаціях. Велика кількість електро-генеруючих установок малих і середніх потужностей при створенні високоефективної системи централізованого управління дасть змогу легко маневрувати їх загальною потужністю залежно від потреб.

Ще однією областю застосування когенерації та суттєвим резервом енергозаощадження є газова промисловість, для функціонування якої необхідна значна кількість природного газу і електроенергії. Особливо це стосується газотранспортної системи України, яка має загальну протяжність понад 34 тис. км, 120 компресорних цехів, 779 газоперекачувальних агрегатів (ГПА) загальною потужністю 5.5 тис. МВт. З них з газотурбінним приводом (ГТУ) складають 80% парку, які споживають близько 5,1 млрд.м<sup>3</sup> газу на рік [7].

Шляхом оптимізації технологічного циклу можна значно підвищити ККД привода ГТУ і максимально використати теплоту викидних газів. Для цього необхідно на усіх ГПА замінити газотурбінний привод на електричний а для електроживлення таких ГПА необхідно побудувати парогазові теплоелектроцентралі (ТЕЦ) у місцях, близьких до великих споживачів теплоти – міст та великих населених пунктів. Паливом для цих ТЕЦ буде природний газ, який спалюється сьогодні у газових турбінах ГПА.

Приблизні розрахунки свідчать, що у разі повної реалізації запропонованого проекту можна буде зекономити 3.1 млрд. м<sup>3</sup> газу вартістю близько 400 млн. дол. США. Вартість викидного низькопотенційного тепла у кількості 10.4 млн. Гкал тепла складатиме близько 1 млрд. гривень за цінами початку 2006 року [8]. Для порівняння – котельні комунальної теплоенергетики сьогодні виробляють 47 млн. Гкал тепла [5].

В Україні є необхідна технологічна база і достатні потужності для виробництва більшої частини машин та обладнання, щоб забезпечити реалізацію запропонованого проекту.

Реалізація пропозиції буде мати значний природоохоронний ефект, адже значно знизяться викиди у навколишнє середовище. Відомо, що кожна заощаджена гікалорія теплоти запобігає викидам у атмосферу 2.2 кг твердих часток, 3 кг оксидів сірки та близько 1 кг оксидів азоту.

Менша кількість спалюваного палива дасть змогу значно зменшити викиди парникових газів і перш за все двоокису вуглецю.

Останнє можна використати як заохочення західних держав до інвестування цього проекту. Адже для реконструкції теплоенергетичних підприємств, інженерних мереж, проведення заходів щодо теплоізоляції будівель потрібні будуть значні кошти, зацікавленість західних інвесторів в участі фінансування цього проекту у подальшому.

Відповідно до домовленості у Кіото на Конференції Сторін Рамкової Конвенції ООН

про зміну клімату (грудень 1997 р.) західні країни повинні знизити викиди парникових газів (в основному, двоокису вуглецю), що для них означає зниження виробництва, оскільки свої можливості з енергозаощадження вони майже повністю використали.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є купівля права на викиди парниково газу у країн, які не використовують повністю свої квоти (право на викиди 1 т парникових газів коштує 20-100 доларів США [9]). Однак ця пропозиція неприйнятна зі сторони багатьох учасників, оскільки призведе до зупинки розвитку виробництва слабозвинутих країн і не зменшить загального обсягу викидів.

Але країни, що перевищили свої квоти по викидах CO<sub>2</sub>, можуть одержати понаднормові квоти за рахунок зниження викидів при реалізації енергозаощаджуючих проектів у інших країнах, що не впливатиме на розвиток їх виробництва. Наприклад, в Україні зниження споживання хімічного палива на 30 млн. т.у.п. дасть змогу знизити викиди CO<sub>2</sub> приблизно на 80 млн. т., що становитиме 1,6-8 млрд. дол. Ці кошти будуть суттєвим вкладом у реалізацію запропонованого проекту.

Величезні можливості енергозаощадження за рахунок ефективного використання високопотенційної складової теплоти згорання палива і багатоваріантність його технічного забезпечення повинні бути закладені в основу стратегічного напрямку розвитку паливно-енергетичного комплексу України і перетворитись у базову галузь економіки на найближче майбутнє. Сьогодні це не просто вирішення технічної проблеми, але й вирішення економічних і політичних питань. Реалізація запропонованого проекту такого масштабу дасть поштовх відновленню виробництва, створенню великої кількості робочих місць, сприятиме значному покращанню екології, оздоровленню нашої економіки.

### Література

1. Матеріали інтернет-видань: [www.greenkit.net](http://www.greenkit.net), <http://truba.com.ua/artic/ru>
2. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – К.: Українські енциклопедичні знання, 1998. – 511 с.
3. Лихошва Ю.В. Енергозбереження у житлово-комунальному господарстві – пріоритетний напрям діяльності // Конгрес з енергоресурсозбереження. – К., 1997. – С. 25-39.
4. Долинский А.А., Фиалко Н.М. Некоторые пути энергосбережения у жилищно-коммунальном хозяйстве // Конгрес з енергоресурсозбереження. – К., 1997. – С.78-84.
5. Дударев С.І. Створення технологічної бази для впровадження ресурсозберігаючих технологій у теплоенергетиці // Конгрес з енергоресурсозбереження. – К., 1997. – С.63-66.
6. Козак Л.Ю. Ефективне використання високопотенційної складової теплоти згорання

палива // Матеріали міжнародної наукової конференції. – Івано-Франківськ, 1999. – С.32-35.

7. Макар Р.М., Говдяк Р., Шелковський Н.А. Стан, шляхи та перспективи газозабезпечення України // Вісник ДУ «Львівська політехніка» „Проблеми економії енергії”. – Львів, 1998. – С.7-10.

8. Козак Л.Ю., Грудз В.Я., Середюк М.Д., Слободян В.І. Енергозаощадження у газотранспортній системі України // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – № 3.

9. Здановський В.Г. Деякі аспекти екобезпеки теплоенергетики України та шляхи її покращання // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2000. – № 37 (том 9). – С. 21-30.