

А. ДОЛІНСЬКИЙ, В. КЛИМЕНКО

## КОГЕНЕРАЦІЯ — НОВІ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИКИ

*Нещодавно на найвищому рівні створено комісію для вироблення енергетичної стратегії держави. Поставлено завдання — у найкоротший термін розробити методи енергозбереження, які мають стати одним з основних важелів подолання кризи в енергетиці.*

*На розв'язання саме цієї проблеми спрямовані численні розробки Інституту технічної теплофізики НАН України.*

### ЯК УНИКНУТИ КОЛАПСУ

Нині точиться багато дискусій з приводу того, як має розвиватися українська енергетика. Обираючи її пріоритети, необхідно враховувати ті проблеми, які зумовили глибоку кризу галузі. А проблем цих сила-силенна: дефіцит власного палива; гранична спрацьованість енергетичного обладнання, понад 90 % якого вичерпало свій розрахунковий ресурс, а понад 60 % — подвійний; дуже низька ефективність теплових електростанцій — їхній к.к.д. найчастіше не перевищує 30 % (моральне старіння); гострий дефіцит маневрових потужностей; величезні витрати енергії у мережах внаслідок вкрай нерівномірного розподілу електрогенеруючих потужностей по регіонах; занадто низькі екологічні показники наших теплових електростанцій.

Розв'язання цих проблем вкрай ускладнюється тим, що для реанімації енергетики потрібні величезні кошти (не менше мільярда доларів США на кожну тисячу мегават електрогенеруючих потужностей), яких у держави зараз немає. Якщо не вжити невідкладних заходів, то у 2005 р. дефіцит потужностей в енергетиці досягне 7—10 млн кВт, а у 2010 р. вийде з ладу електрогенеруюче обладнання всіх наших теплових електростанцій.

Який же вихід із цього становища? На іноземні інвестиції розраховувати не доводиться. Те, що ми одержали (до речі, набагато менше, ніж було обіцяно), аж ніяк не допоможе вивести українську енергетику з кризи. Крім того, іноземні інвестиції — це не гроші, а устаткування, яке коштує набагато дорожче, ніж вітчизняне. Та його доводиться встановлювати, а потім віддавати кредити. То чи не краще розраховувати на власні сили і не ставити роботу наших підприємств у залежність від закордонних інвестицій?

Нині при Верховній Раді створена комісія, яка має виробити заходи для запобігання колапсу економіки, який очікується у 2005 р. До цієї комісії подано пропозиції, вироблені на основі досліджень, здійснених в установах Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України. На нашу думку, пріоритет найближчим часом має надаватися тепловим електростанціям. І тут потрібна не заміна устаткування, на яку немає грошей, а подовження терміну його експлуатації і підвищення ефективності роботи. Саме у теплоенергетиці існують реальні можливості для застосування найновіших технологій за кошти не іноземних, а передусім національних інвесторів.

Відродження теплоенергетики України має відбуватися на основі широкомасштабного використання новітніх високоефективних енерго- і ресурсозберігаючих технологій, які не потребують великих капіталовкладень і часу. Причому важливо, щоб така модернізація стосувалася як генерування, так і споживання теплової та електричної енергії. Ідеться про глибоку утилізацію теплоти газу, що залишає котел, енергетичну установку чи інше теплогенеруюче обладнання, а також про термохімічну підготовку палива, вдосконалення теплоенергетичного устаткування, розробку та застосування приладів і систем контролю та регулювання теплоенергетичних процесів тощо. Такі технології розроблені в установах Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України. Серед них найперспективнішими сьогодні є когенераційні технології, створені в Інституті технічної теплофізики НАН України. Когенерація — це поєднання в одному процесі принаймні двох технологій вироблення енергії, які мають загальну природу: перетворення теплоти палива на теплову, електричну і механічну енергію, а також на генерування пари.

До речі, когенераційний напрям в енергетиці інтенсивно розвивається в останні роки в усіх промислово розвинених країнах і присутній в енергетичних програмах багатьох з них як одна з основних тенденцій, котра активно підтримується і стимулюється державою. Частка когенераційних електрогенеруючих потужностей в енергетиці Данії, наприклад, становить близько 60 %, Нідерландів — 43 %, у Фінляндії — 33 %, Австрії — 25 % тощо. В Україні у когенераційному циклі (на існуючих ТЕЦ) виробляється не більше 7 % електроенергії.

Тим часом у нашій промисловості працюють сотні енергетичних об'єктів: котли, печі, потужні сушарки. Вони споживають до 70 % від загальної кількості органічного палива, яке витрачається в країні. Ось чому такого значення набуває енергозбереження. Адже третина ВВП нашої держави витрачається на закупівлю палива, оскільки маємо небагато власних енергетичних ресурсів.

Внаслідок багаторічних фундаментальних досліджень нашого інституту у галузі енергетики та енергетичного машинобудування розроблена концепція і науково-технологічна база для створення нових енергогенеруючих потужностей на основі широкомасштабного застосування когенераційних технологій у сфері теплозабезпечення, промисловості, транспорту природного газу і теплоенергетики. Запропоновано новий підхід до реалізації цих технологій, який принципово відрізняється від зарубіжного. Він ґрунтується на ідеї надбудови існуючих теплогенеруючих потужностей електрогенеруючими установками з газотурбінними чи газопоршневими двигунами, які скидають відпрацьовані гази у топку котла. Процес теплогенерації тут відбувається внаслідок доспалювання природного газу та іншого палива у потоці відпрацьованих газів теплового двигуна та утилізації всієї теплоти у котлі. Цей підхід забезпечує найбільшу з технічно можливих ефективність використання палива, що дає змогу генерувати енергію у когенераційному циклі з приведеними питомими витратами палива менше 140 г на 1кВт•год. Для порівняння: цей показник на існуючих конденсаційних електростанціях перевищує 380 г на кВт•год.

Перший крок на цьому шляху вже зроблений. Інститут технічної теплофізики НАН України і ВАТ «Рассвет» Запорізьких теплових мереж 21 листопада минулого року ввели у дослідно-промислово експлуатацію першу в Україні когенераційну установку, яка забезпечує найвищу у теплоенергетиці ефективність використання палива під час генерування теплової та електричної енергії — понад 90 %. Шляхом надбудови котлів однієї з районних котелень теплозабезпечення м. Запоріжжя її перетворено на міні-ТЕЦ, яка має теплову потужність 20 МВт і електричну — 2,5 МВт. Реалізовано проект, який забезпечить генерування майже 20 млн кВт•год електроенергії на рік практично без

збільшення витрат палива, що споживалося котельнею до реконструкції. На стадії опрацювання перебуває проект створення когенераційної електрогенеруючої установки потужністю 67 МВт у системі транспорту газу.

Як же вдалося досягти таких показників? Розповімо про це детальніше.

## **ПЕРШІ НОВІ МЕГАВАТИ**

Перетворення, які лежать в основі когенераційних технологій, відбуваються з різною ефективністю. Скажімо, теплоту палива можна використати на 90 і більше відсотків, а в енергетичній установці — лише на 40 %, решта викидається у навколишнє середовище. Якщо ж об'єднати ці два процеси, тоді теплота, яка викидається з енергетичної установки, утилізуватиметься у котлі. І електрична енергія одержуватиметься у високоефективному когенераційному процесі. В результаті майже за тих самих витрат палива ми отримаємо тепло плюс 10 % електроенергії за рахунок зростання ефективності процесу.

Ці принципи відомі давно і застосовуються на ТЕЦ, де в одному процесі у паротурбінному блоці поєднано виробництво електроенергії і тепла. Це перша когенераційна технологія, яка почала використовуватися ще на початку минулого століття — першу ТЕЦ побудували у 1907 р. Відтоді з'явилася ціла низка інших технологій. У середині 60-х років почали працювати парогазові установки, які дедалі ширше застосовуються у світі. Вони реалізують високоефективну технологію виробництва електроенергії, в якій певною мірою використовуються принципи когенерації. Але їхня продуктивність невелика — близько 52 %, оскільки теплота у деяких схемах не утилізується.

У чому ж переваги нашого підходу?

Поширені когенераційні технології реалізуються в енергетичних установках (скажімо, газова турбіна з генератором) з надбудованим теплоутилізатором. Тобто тепло, яке раніше викидалося з газової турбіни, використовується у цьому утилізаторі і подається на промислові підприємства або ж у житлові будинки. Ефективність таких установок становить приблизно 70—75 %.

Суть нашого підходу в іншому. Як уже зазначалося, існує велика кількість установок, де виробляється теплота, пара, одержується гаряча вода тощо. Це різноманітні технологічні схеми у промисловості, комунальна сфера опалення, а також газотранспортна система, де встановлено багато газотурбінних приводів нагнітачів магістральних газопроводів. Усі ці об'єкти можна перетворити на мініелектростанції шляхом надбудови газової турбіни чи поршневого двигуна. По суті, це нібито те ж саме, що роблять на Заході, — використання принципу когенерації. Але наш підхід спричинив нові цікаві ефекти. Розглянемо їх.

Скажімо, великі труднощі становить проблема повного використання тепла. Теплові генератори — локальні установки, які працюють на виробництві або в населених пунктах, де опалюється житло чи подається гаряча вода. Але значна кількість виробленого ними тепла викидається «на вітер». Водночас скрізь потрібна електроенергія, вона універсальна, її можна передавати на великій відстані. Та, як правило, теплові та енергетичні установки не завжди поєднуються: часто там, де потрібна електрика, немає куди подіти тепло. У таких випадках не вдається реалізувати звичайну когенераційну технологію. Однак якщо існуючі теплоагрегати перетворити на електростанції, то проблема збуту тепла не виникає.

Візьмемо для прикладу цементну піч. Для її нормальної роботи важливе значення має дотримання технологічного режиму — певної температури і потрібного її розподілу по об'єму печі. Коли такий об'єкт поєднується з газовою турбіною, то продукти її згоряння скидаються у піч. Але їхньої температури недостатньо для дотримання технологічного процесу. Тому у такій когенераційній установці доводиться застосовувати процес доспалювання у потоці відпрацьованих газів турбіни. У цьому і полягає друга особливість запропонованого нами підходу. Саме цього і немає у звичайних когенераційних установках, які використовуються на Заході. Тим часом, доспалювання, як з'ясувалося, істотно підвищує загальну ефективність використання палива. Якщо в утилізаційній схемі вона становила 70—75 %, то за рахунок доспалювання цей показник зростає до 90—92 %.

Процес спалювання у газовій турбіні відбувається за надлишку повітря, що дає змогу знизити початкову температуру газу. Якщо використовується пасивна схема когенерації, то продукти згоряння газової турбіни, які викидаються в утилізатор, містять такий же надлишок повітря. Натомість наша технологія забезпечує можливість повністю спалювати кисень і ліквідувати цей надлишок, тому й маємо таку високу ефективність. До когенераційної схеми ми додаємо блок глибокої утилізації, де під час спалювання природного газу відбувається реалізація теплоти пароутворення, яку звичайно не враховують, оцінюючи енергетичні показники. Завдяки цьому ефективність використання палива зростає ще на 10—12 %. Ще однією перевагою запропонованої технології є така організація процесу доспалювання, за якої знижується кількість шкідливих викидів.

Як уже говорилося, у листопаді минулого року запущено когенераційну установку на базі котельні гарячого водопостачання в одному з районів Запоріжжя, завдяки чому 25—30 тисяч чоловік можуть одержувати, крім тепла, ще й електроенергію без додаткових витрат палива. А який ефект матиме впровадження схеми когенерації у масштабах енергетичної системи країни?

У великій енергетиці відпрацьоване устаткування є головною проблемою, яка практично не розв'язується через брак фінансування. За останні 10 років у нашій державі не введено в дію жодного нового кіловата електрогенеруючих потужностей, крім уже згаданої когенераційної електростанції, яку побудовано у Запоріжжі. Тим часом велику енергетику потрібно модернізувати, реставрувати, відновити. Але це надто масштабне завдання, щоб сподіватися на його вирішення у найближчому майбутньому. Ми ж пропонуємо додаткове енергетичне поле, яке раніше не використовувалося, — сферу генерування теплоти.

Наші розрахунки показують: якщо котельні централізованого тепlopостачання перетворити на когенераційні ТЕЦ, то можна одержати близько 6000 МВт електроенергії. Таку потужність має наша найпотужніша Запорізька атомна електростанція. А ще ж існує система транспортування газу — газоперекачувальні агрегати на базі газових турбін. Якщо їх усі включити до когенераційних схем, то можна лише у цій сфері одержати приблизно 2000 МВт електрогенеруючих потужностей. Нині ж ці газові турбіни викидають в атмосферу близько 75 % енергії, одержаної від палива, яке вони споживають. «Укртрансгаз» разом з чеською фірмою «Альстом», використавши наші розробки, виконали дослідження, які показали, що на базі газових турбін газоперекачувального комплексу «Богородчани» можна побудувати досить велику електростанцію потужністю 67 МВт.

Але найперспективніша щодо цього сфера — промислова енергетика. Будівельна індустрія, металургія, хімічна, цементна, переробна та інші галузі промисловості мають безліч різних топків, котлів, агрегатів, які теж можна перетворити на маленькі електростанції. Згідно з нашими оцінками, тут можна одержати ще не менше 8 тисяч

мегават електроенергії. Якщо все скласти, то виходить, що запропоновані нами когенераційні установки спроможні забезпечити країні додатковий енергетичний потенціал — 15—16 тисяч МВт нових високоефективних електрогенеруючих потужностей. Це майже половина нинішньої потужності всіх теплових електростанцій Мінпаливенерго.

Більше того, якщо поступово реалізовувати можливості когенераційних установок, то відкривається перспектива хоча б часткового розв'язання проблем «великої» електроенергетики. Справа в тому, що їхні відпрацьовані блоки не можна відновлювати частинами, тільки повністю. А для відновлення одного блока потужністю 300 тисяч кВт потрібно не менше 300 млн доларів. Крім того, водночас необхідна реанімація вугільної промисловості, електромережі, всієї структури енергетики, яка зазнала і морального, і фізичного старіння.

Якщо ж замість повністю відпрацьованих агрегатів великих електростанцій ввести в дію когенераційні установки, то на кожні 1000 МВт потужностей одержимо економію півтора мільйона тонн умовного палива. Крім того, зменшаться втрати електроенергії у мережах, бо когенераційні установки будуються поблизу її споживачів. У деяких випадках економія енергії за рахунок зменшення цих втрат може досягти 10—15 %.

Ми пропонуємо зводити невеликі електростанції, на будівництво яких витрачається від шести місяців до року. І гроші тут потрібні набагато менші, ніж на відновлення великих електростанцій, — від 300 до 600 доларів за встановлений електричний кіловат. А найнижчі «потреби» у парогазової установки — 700—800 доларів, вугільної електростанції — 1500 доларів, атомної — до 2000 доларів, не кажучи вже про вітроенергетику. Тобто когенераційні установки потребують найменших капіталовкладень. У них і найнижчий термін самоокупності — два-три роки, тоді як у великої енергетики — 10 років. Усе це має привернути увагу приватних інвесторів.

До того ж, когенераційні установки — маневрені потужності. Їх можна вмикати у години пік і вимикати, коли додаткова енергія не потрібна. Це знімає навантаження на енергосистему і дає змогу хоча б частково розв'язати ще одну проблему — браку маневрених потужностей.

З устаткуванням для когенераційних установок цілком спроможна впоратися наша промисловість, у якій з'явиться нове поле діяльності. Те ж саме стосується і проектних організацій та науково-дослідних установ, у тому числі академічних, які розроблятимуть таке обладнання. Адже нині інститути енергетичного профілю залишилися без роботи, бо заводи не випускають нових машин. Що ж до когенераційних схем, то вони і далі вдосконалюватимуться, створюватимуться спеціальні установки, які підвищуватимуть їхню ефективність. А це означає появу нових робочих місць, нових досліджень у різних інститутах — зварювання, металів і сплавів, проблем міцності, газу і т. д. Тобто матимемо неабиякий соціальний ефект.

Поліпшиться екологічна ситуація у країні: адже коли зменшується кількість використаного палива, автоматично зменшуються викиди вуглекислоти, а також інших шкідливих речовин в атмосферу. За цих умов згідно з Кіотською угодою Україна могла б продавати квоти на такі викиди, а за рахунок одержаних грошей розвивати когенераційний напрям в енергетиці. І для всього цього не потрібні бюджетні кошти.

**У СФЕРІ НАНОТЕХНОЛОГІЙ**

На будь-якому підприємстві витрачається енергія. І використати її можна традиційно, на 30—40 %. Саме така ефективність енерговитрат на операціях сушіння одягу, будівельних матеріалів, деревини тощо. Якщо ж застосувати нові технології керування кінетикою процесу сушіння, з'являється можливість використати енергію на 70—80 %. В Україні вже працюють тисячі сушарок, де застосовуються нові технології керування процесом. З одного боку, вони дають змогу заощадити тепло, з другого — підвищити якість продукції. Приміром, дошку можна висушити за допомогою високої температури, але наслідком будуть великі витрати тепла і неякісна, розтріскана, пожолоблена поверхня матеріалу. Щоб одержати високу якість продукції, її краще сушити повільно за низької температури, але витрати енергії у цьому випадку ще більше зростуть. Оптимальний варіант — сушити за високої температури і керувати кінетикою цього процесу, тобто рухом вологи зсередини матеріалу до його поверхні. Тепла при цьому повинно бути стільки, щоб воно все перетворювалося на вологу і запобігало розтріскуванню матеріалу. Ці методи керування кінетикою процесів широко використовуються під час сушіння медичних препаратів, у будівельній та харчовій індустрії. Вже впроваджено понад тисячу установок, які дають істотну економію електроенергії.

В Інституті технічної теплофізики розроблено також метод дискретно-імпульсного введення енергії у гетерогенне середовище (ДІВЕ), автори якого удостоєні двох Державних премій. Гетерогенне — це неоднорідне середовище, скажімо, вода з краплями масла або якимись твердими частинками чи мікроорганізмами. Метод ДІВЕ дає змогу керувати процесами, які відбуваються у такому середовищі. Приміром, під час буріння свердловин подається охолоджувальна рідина. Від якості останньої та регулярності її надходження залежать і швидкість буріння, і зносостійкість інструменту. Тому охолоджувальну рідину одержують на спеціальному устаткуванні з води і глини з додаванням нафти. Щоб мати високоякісну емульсію, потрібна спеціальна, дорога глина. Застосувавши метод ДІВЕ, нам вдалося одержати емульсії, стійкість яких у 15 разів вища за звичайні, а енергії на їх виготовлення витрачається у 2,5 разу менше. Крім того, ми відмовилися від дорогих глин, використовуємо звичайні, удвічі зменшили кількість нафти в емульсіях.

Цікаво, що цей метод дав привід до несподіваних узагальнень, зроблених нашими зарубіжними колегами. Сталося так, що ми розповіли про нього, перебуваючи у Нью-Йоркському університеті. І американські вчені заговорили про те, чого ми й самі одразу не усвідомили: створено нанотехнологію — технологію, параметри якої вимірюються у нанометрах і наносекундах. Над одержанням таких результатів нині б'ються вчені всього світу! Сенат США минулого року створив спеціальну комісію з нанотехнологій, виділивши на їх розвиток півмільярда доларів.

Нанодіапазон дає змогу виходити на результати принципово нового рівня. І саме їх вдалося одержати, розробляючи технологію обробки молочних продуктів. Ідеться про гомогенізацію — надзвичайно енергоємний процес, потрібний для того, щоб зруйнувати великі жирові кульки. Інакше вони швидко спливають на поверхню молока, що призводить до його скисання. Гомогенізація відбувається за надзвичайно високого тиску (приблизно 200 атм) у потужних дорогих установках (близько 100 тисяч доларів). Наші вчені запропонували свій метод: здійснювати цей процес не за високого тиску, а у вакуумі з допомогою дискретно-імпульсного введення енергії. Метод, який тут застосовується, має назву «вибухове адіабатичне скипання у вакуумі». Він дав змогу в одному апараті об'єднати п'ять технологічних процесів. По-перше, зруйнувати жирові кульки. По-друге, провести деаерацію, тобто знищити зайвий запах у молоці. По-третє, знизити кількість мікроорганізмів. Крім того, молоко часом везуть здалеку і трапляється, що кислотність

його зростає. А в новому апараті можна відновлювати таке молоко — знижувати його кислотність.

Усе це вже само по собі було чималим досягненням. І зважаючи всі переваги нової технології, ми не відразу помітили, що, долаючи весь процес обробки у вакуумному апараті, молоко набуває нових властивостей. Воно після цього може зберігатися не 36 годин, як звичайне пастеризоване, а до 10 діб, не втрачаючи своєї якості. Це якраз і пояснюється тим, що ми «працюємо» у нанодіапазоні, на рівні молекул. Тобто, застосувавши вакуум замість високого тиску, адіабатичне скипання замість механічного подрібнення, ми уникли руйнування молекул, тому молоко довго не скисає.

Недавно відбулася виставка інноваційних проектів, на якій наш інститут представив десять таких проектів. З погляду енергозбереження ми оцінюємо їхній потенціал дуже високо, вважаємо, що він становить 25—30 млн тонн умовного палива. (Всього в Україні споживається 160 млн тонн у.п.). І це далеко не все, що є в інституті. Всі наші технології енергозберігаючі, вони дають змогу розв'язувати серйозні проблеми у різних галузях промисловості, зокрема створити нові будівельні матеріали — високоміцні, з невеликою теплопровідністю. Отож, інститут набирає темпів роботи, весь час шукає нових форм реалізації наукових розробок за умов ринкової економіки.

Останнім часом тут одержані найвищі результати за всі 54 роки існування установи, хоча кількість співробітників нині вчетверо менша, ніж була 1990 р. Незважаючи на економічну скруту (на яку всі нарікають), протягом минулого року інститут впровадив 110 технологій, приладів, різного устаткування. Опубліковано 170 статей, п'ять монографій, 94 тези, чотири брошури. Подано 31 заявку на видачу патентів, одержано 25 рішень. Проведено дві міжнародні конференції і чотири міжнародні семінари, в яких взяли участь учені і дослідники 30 країн світу.

Разом з тим існує чимало нерозв'язаних проблем, які заважають широкомасштабному впровадженню ресурсозберігаючих технологій в Україні. Передусім гостро відчувається відсутність державної підтримки когенераційного напряму теплоенергетики: він недостатньо мірою представлений у Національній енергетичній програмі та стратегії розвитку енергетики України до 2030 р. Когенераційні технології не посіли належного місця і в Державних програмах енергозбереження та у програмах наукових досліджень і розробок Міністерства освіти і науки. Ще недостатньо вивчені реальні можливості застосування когенераційних технологій у промисловій теплоенергетиці, а також випуску енергетичного обладнання, необхідного для них. Відсутня законодавча база, яка стимулювала б залучення інвестицій у цю важливу галузь енергетики, гарантувала б повернення кредитів і врегульовувала б стосунки виробників енергії та власників мереж.

Досі немає структур, які б координували у країні роботи з впровадження когенераційних технологій. Такими структурами можуть стати мережі регіональних технопарків енергетичної спрямованості. **Для відпрацювання механізму реалізації когенераційних технологій, створення пілотних проектів і координації робіт ми працюємо над організацією енергетичного технопарку на базі Інституту технічної теплофізики НАН України. Невідкладним завданням сьогодні є розробка Державної програми з розвитку енергетики в Україні на базі застосування когенераційних технологій.**

Надзвичайно актуальним є також завдання прискореного розвитку біоенергетики. Сьогодні вона ще не відіграє належної ролі у паливному багажі нашої країни. Тим часом у державах ЄС біомаса становить від 6 % у Данії до 23 % у Фінляндії у загальному споживанні первинних енергоносіїв. Для того, щоб і у нас відбулися реальні зрушення в

цьому напрямі, необхідно вже найближчим часом розробити спеціальну програму розвитку біоенергетики в Україні.

Однак справді ефективно впровадження новітніх технологій гальмується через відсутність надійних механізмів захисту інтелектуальної власності. Його не забезпечують поки що ні наші патенти, ні закони з цього питання. Автор нової технології сьогодні не зацікавлений випускати розробку зі своїх рук, передавати її у серійне виробництво. Отже, радикальні кроки саме у цій сфері можуть дати потужний поштовх і для прискореного оновлення та розширення енергетичної бази країни.

---

© ДОЛІНСЬКИЙ Анатолій Андрійович. Академік НАН України. Директор Інституту технічної теплофізики НАН України (Київ).

КЛИМЕНКО Віктор Миколайович. Член-кореспондент НАН України. Завідувач відділу того ж інституту. 2002.