

УДК 621.311

Б.А. КОСТЮКОВСЬКИЙ, канд. техн. наук
С.В. ШУЛЬЖЕНКО,
Т.П. НЕЧАЄВА

Інститут загальної енергетики НАН України, Київ

НАПРЯМКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ПО ВИКИДАХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ У ПОВІТРЯ В ТЕПЛОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

В статті розглянуті проблеми забезпечення необхідних рівнів викидів забруднювачів в атмосферу тепловими електростанціями України на органічному паливі. Визначено, що головним стратегічним напрямком екологізації теплової енергетики України є впровадження новітніх вугільних технологій.

Майже половина від загального обсягу виробництва електроенергії в Україні генерується на потужних теплових електростанціях (ТЕС), при цьому більша частина енергоблоків цих ТЕС фізично та морально застарілі, проробили більше запроектованого часу і випрацювали свій граничний та подовжений ресурс. Сучасні умови експлуатації цих ТЕС – недовантаження, непроекtnі режими роботи, низька якість палива, фізична зношеність основного обладнання, роботи на знижених параметрах пари, перевищення проектних питомих витрат палива на відпуск електричної енергії пиловогільними енергоблоками внаслідок перевитрат палива на непланові пуски та зупинки, глибокі розвантаження, використання непроекtnого палива створюють умови для збільшення обсягів шкідливих викидів та скидів, які забруднюють довкілля, розширення площ золовідвалів.

Проекtnи практично всіх теплових електростанцій України, які споруджувалися, головним чином, в 60–70-х роках минулого сторіччя, не передбачали комплексного захисту навколишнього природного середовища від викидів та скидів твердих, рідких та газоподібних забруднювачів в довкілля – відсут-

ність систем очищення димових газів від оксидів сірки та азоту; проводиться лише очищення від пилу – мокрі зололовлювачі, батарейні циклони та електрофільтри, проектна ефективність кращих з них – електрофільтрів – не перевищувала 98%. На даний час ефективність пилоочищення на ТЕС складає в основному 90–95%, при цьому, з урахуванням строку служби пилоловлюючих установок, їх фактична ефективність навіть після капремонту, не перевищує 95–96%, що не забезпечує виконання існуючих вимог до вмісту твердих частинок у димових газах. Роботи з упровадження сучасного газоочисного устаткування практично не ведуться через відсутність коштів. Через це потужні теплові електростанції є вагомим джерелом викидів забруднюючих речовин, зокрема оксидів сірки та азоту, пилу, а також парникових газів. Така ситуація обумовлюється не тільки відсутністю устаткування для зменшення викидів в атмосферу, а й досить високим вмістом сірки у вітчизняному вугіллі, що призводить до високих рівнів концентрації її оксидів у викидах вугільних ТЕС, високою зольністю вугілля, через що запиленість внаслідок викидів димових газів від вугільних ТЕС в ат-

Таблиця 1. **Обсяги викидів основних забруднюючих речовин в повітря від діяльності з виробництва електроенергії та тепла в Україні у 2005–2007 роках [1]**

Забруднюючі речовини	2005		2006		2007	
	Обсяг викидів, тис. т	У відсотках до загального обсягу викидів по Україні	Обсяг викидів, тис. т	У відсотках до загального обсягу викидів по Україні	Обсяг викидів, тис. т	У відсотках до загального обсягу викидів по Україні
NO _x	154.06	30%	158.21	32%	172.34	23.6%
SO _x	876.06	73.5%	1114.21	77%	1069.99	78.5%
Пил	327.72	42%	347.61	44%	306.24	41%

мосферне повітря інколи перевищує нормативи у 20–30 разів. Все це призводить до значних обсягів газопилових викидів від об'єктів електроенергетики, більшу частину яких створюють потужні ТЕС (табл.1).

З урахуванням викладеного, перед тепловою енергетикою України постала проблема зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу та доведення їх показників до національних вимог, які гармонізовані з вимогами Європейського Союзу.

В цій статті на основі проведених досліджень [2] визначені напрями забезпечення виконання вимог до викидів забруднювачів у повітря на ТЕС країни в умовах гармонізації законодавства України з законодавством ЄС в галузі теплової енергетики та найбільш ефективні заходи і технічні рішення по скороченню таких викидів.

Для забезпечення рівнів викидів забруднюючих речовин в атмосферу тепловими електростанціями України на органічному паливі відповідно до вимог ЄС для теплосилових установок номінальною тепловою потужністю більше 50 МВт були встановлені технологічні нормативи допустимих викидів таких забруднюючих речовин, як суспендовані тверді частинки, діоксид сірки, оксиди азоту [3], застосування яких гармонізовано з вимогами Директиви ЄС 2001/80/ЕС [4] як за показниками нормативів, так і термінами їх застосування з деякими розбіжностями у часі впровадження нормативів.

Але забезпечити виконання цих вимог заходами, які закладені в існуючих нормативно-правових документах – Енергетичній стратегії України на період до 2030 року [5], Плані заходів на 2006–2010 роки щодо реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2030 року [6], як показали виконані дослідження, не можливо. Так, згідно з Планом заходів встановлення установок сіркоочистки передбачається тільки на енергоблоках Трипільської, Добровірської, Зміївської та Бурштинської ТЕС, а низькоемісійних технологій циркулюючого киплячого шару – на Придніпровській, Луганській, Слов'янській та Миронівській ТЕС. Згідно з цим планом передбачається три рівні реабілітації вугільних ТЕС (табл.2).

Звісно, висока економічна ефективність реконструкції (модернізації) існуючих електростанцій відносно нового будівництва (навіть при глибокій реконструкції з повною заміною існуючих технологій виробництва електроенергії вона дозволяє зменшити потребу в інвестиціях на 20–30% та скоротити час введення потужностей на 2–3 роки) обумовлює доцільність першочергової реалізації саме цього напрямку розвитку генеруючих потужностей ОЕС України. Але з точки зору можливості досягнення вимог ЄС до викидів забруднювачів у повітря, перші два рівні реабілітації можуть розглядатися лише як проміжне рішення, бо вони не забезпечують їх виконання – модифікація пальників для зниження викидів NO_x

Таблиця 2. Рівні реабілітації вугільних ТЕС [7]

Об'єкт	I рівень	II рівень	III рівень
Котлоагрегат	Розширений капремонт, модернізація: пальників, поверхонь нагрівання, повітропідігрівника, пилосистеми	Кардинальна реконструкція частини котла з заміною топки (аркова, плечова, передтопки, вихрова)	Новий котел ЦКШ чи факельна топка із сіркоочищенням
Турбоагрегат	Ремонт і реабілітація окремих циліндрів	Модернізація або заміна ЦВТ, ЦСТ, ЦНТ і САК	Новий турбоагрегат
Екологія	Реконструкція електрофільтрів, модифікація пальників для зниження NO_x , поліпшення якості палива	Заміна електрофільтрів, установка сіркоочищення 60–90%, пальники зі зниженням NO_x	Відповідно до європейських стандартів
Паливо	Високої якості, зниження підсвічування на 7–15%	Середньої якості, зниження підсвічування на 30–60%	Низькоякісне і позабалансове, без підсвічування
Продовження ресурсу блоку, р.	10–15	15–20	20–30
Питомі капвитрати, дол.США/кВт	до 250	до 600	до 1200
Підвищення ККД блоку, %	2–3	3–5	4–10

не дасть необхідного рівня зниження викидів оксидів азоту у 80–90%, не передбачено підвищення рівня пилоочищення до необхідних 99.8–99.9 %, при цьому питомі капвитрати для існуючих станцій при встановленні установок десульфуризації для другого рівня зростають на 30–100% [8]. Такі рішення можуть розглядатись як тимчасові, а на енергоблоках, які пройшли реабілітацію по цих рівнях, в перспективі необхідно провести додаткові роботи по приведенню рівня викидів на них у відповідність до вимог ЄС.

Важливе значення для визначення перспектив розвитку електроенергетики країни має доступність до впровадження новітніх технологій виробництва електроенергії. На жаль, Україна не мала і не створила за часів незалежності власного котлобудування, виробництва обладнання для зниження викидів окислів сірки та азоту. На сьогодні Україна в значній мірі може забезпечити електроенергетичний комплекс турбогенераторами, газовими турбінами потужністю до 25–110 МВт, електротехнічним обладнанням та засобами управління.

Виконані дослідження по забезпеченню виконання вимог ЄС до викидів забруднювачів у повітря при реабілітації існуючих вугільних ТЕС визначили доцільність розгляду в перспективі найближчих 10–15 років таких заходів:

1. На енергоблоках КЕС, які з 2016 року будуть працювати в режимах повного навантаження, – проведення робіт з подовженням терміну їх роботи мінімум на 20 років з відновленням та поліпшенням проектних показників, впровадження, за можливості, первинних заходів по зниженню викидів NO_x та встановлення систем уловлювання пилу з ефективністю близько 99%, зниження викидів SO_2 з ефективністю 90–95%, зниження викидів NO_x з ефективністю 80–85%. Це по суті реабілітація існуючих енергоблоків другого рівня з встановленням засобів зниження викидів забруднювачів повітря згідно з вимогами ЄС.
2. На енергоблоках КЕС, які з 2016 року будуть працювати не більше 1500 годин на рік (так звані пікові станції), – проведення поглибленого капітального ремонту існуючих енергоблоків з продовженням терміну їх роботи мінімум на 20 років з відновленням проектних показників, впровадження,

за можливості, на котлі первинних заходів по зниженню викидів NO_x та встановлення систем уловлювання пилу з ефективністю біля 99%, зниження викидів SO_2 з ефективністю 85 – 90%, зниження викидів NO_x з ефективністю 80 – 85%;

3. Проведення комплексної реконструкції на енергоблоках КЕС та ТЕЦ з впровадженням енергоблоків на суперкритичні параметри пари з реалізацією комплексу первинних заходів по зниженню викидів NO_x та встановлення систем уловлювання золи з ефективністю біля 99.9%, зниження викидів SO_2 з ефективністю 90 – 95%, зниження викидів NO_x з ефективністю 65 – 75%, або з впровадженням котлів ЦКШ для спалювання високозольного вугілля з реалізацією заходів по десульфуризації та впровадженням високоефективних систем пилоуловлювання з рівнем очищення не менше 99.9%.

Використання технологій з газифікацією вугілля доцільно розглядати для більш віддаленої перспективи.

Результати проведеної порівняльної оцінки ефективності реалізації вищезазначених рішень з використанням моделей життєвого циклу [2, 9] засвідчили, що в загальному випадку реалізація рішень з реабілітації існуючих ТЕС зі встановленням новітніх технологій на суперкритичні параметри пари є більш виправданою, ніж продовження терміну роботи існуючих енергоблоків за рахунок їх відновлення при поглиблених капітальних ремонтах з встановленням високоефективних засобів зниження викидів забруднювачів у повітря.

Це обумовлено такими чинниками:

1. Практично однакові потреба в інвестиціях та експлуатаційні витрати на забезпечення прийнятного рівня викидів забруднювачів в повітря згідно з вимогами ЄС.
2. Значно більш висока паливна економічність обумовлює менші, за рівних умов, видатки на паливо, платежі за викиди забруднювачів та експлуатаційні витрати на зниження викидів окислів сірки та азоту в енергоблоках на суперкритичні параметри пари.
3. Суттєво вищий маневровий діапазон (наприклад, при застосуванні котлів Бенсона розвантаження до 20% від номінальної потужності [10]) та значно вища паливна еко-

номічність в режимах часткових навантажень.

4. Викиди парникових газів від енергоблоків на суперкритичні параметри пари значно нижчі, ніж енергоблоків з подовженим терміном роботи.
5. Строк роботи нових енергоблоків суттєво більший відносно існуючих енергоблоків з подовженим терміном роботи.

Впровадження технологій з котлами ЦКШ для спалювання вугілля низької якості доцільно до реалізації за умови поставки такого вугілля за низькими цінами через їх низьку паливну ефективність. Впровадження енергоблоків з котлами ЦКШ доцільно на станціях з енергоблоками К-200, у першу чергу в Донбасі.

Головними чинниками доцільності подовження терміну служби існуючих енергоблоків зі встановленням засобів зниження викидів забруднювачів у повітря згідно з вимогами ЄС є фактор часу, тобто такі рішення в масових масштабах можна реалізувати у менш тривалий термін, та необхідність мінімізувати потребу в інвестиційних ресурсах. Поряд з цим, таке рішення потребує значного місця для розміщення систем очищення викидів і у ряді випадків, через відсутність вільного місця, призводить до зменшення потужності існуючих ТЕС за рахунок демонтажу частини енергоблоків для вивільнення відповідного місця під устаткування для очистки газів, які відходять від котла.

Реабілітація газомазутних ТЕС, які практично працюють на природному газі, передбачається за такими напрямками – подовження терміну їх роботи з реконструкцією котлоагрегатів з максимальним використанням технічних рішень по забезпеченню зниження викидів окислів азоту, встановлення систем азоточистки з ефективністю 50–60% та впровадження на них газотурбінних надбудов. Передбачається, що ці енергоблоки на КЕС будуть використовуватись як резервні та для проходження максимуму навантажень.

При проведенні досліджень були визначені можливі рішення по розвитку структури генеруючих потужностей ОЕС України, які забезпечують виконання вимог ЄС до викидів забруднювачів у повітря ТЕС. Поряд зі сценаріями, які визначені в Енергетичній стратегії, розглянуті два додаткових сценарії, у яких використовуються два різних підходи до забез-

печення викидів на ТЕС України вимогам ЄС: подовження терміну роботи існуючих енергоблоків з впровадженням систем очищення газів або впровадження новітніх технологій на вугільних електростанціях. Їх головними відмінностями є термін часу, в який показники теплової енергетики країни повинні повністю відповідати вимогам ЄС до викидів забруднювачів у повітря, та масштаби розвитку атомної енергетики.

В сценаріях, які передбачають досягнення вимог ЄС до викидів забруднювачів у повітря в тепловій енергетиці України на рівні 2015 року, реалізація рішень з подовження терміну служби існуючих енергоблоків зі встановленням високоефективних систем зниження викидів забруднювачів у повітря розглядалась як основний напрямок розвитку структури генеруючих потужностей. Поряд з цим, в цей період передбачається реалізація пілотних проектів з реконструкції існуючих станцій на базі сучасних вугільних технологій – котли ЦКШ, енергоблоки на суперкритичні параметри пари, на основі яких передбачається розвиток теплової енергетики в період до 2020–2025 р. В подальшій перспективі передбачається впровадження технологій на базі газифікації вугілля на основі створення енерготехнологічних комплексів, в тому числі з залученням до паливного балансу ТЕС засоленого вугілля.

В сценаріях, які передбачають досягнення вимог ЄС до викидів забруднювачів у повітря в тепловій енергетиці України на рівні 2020 року, в період до 2010–2012 років найбільш доцільною є стратегія подовження терміну роботи існуючих енергоблоків з мінімальними витратами на термін 8–10 років та реалізація пілотних проектів з реконструкції існуючих станцій на базі сучасних вугільних технологій – котли ЦКШ, енергоблоки на суперкритичні параметри пари. Ці технології починають активно впроваджуватись в період після 2012 року і в період до 2020 року поступово заміщують в структурі генеруючих потужностей енергоблоки з подовженим терміном експлуатації.

З урахуванням результатів багатоваріантних розрахунків та аналізу планів розвитку теплової енергетики України в період 2006–2010 рр. були визначені два сценарії розвитку структури генеруючих потужностей – цільовий, який передбачає виключну орієнтацію на впровадження новітніх технологій при реконструкції ТЕС в період після 2015 року, та додат-

Таблиця 3. **Обсяги необхідних технічних заходів в тепловій енергетиці для забезпечення виконання вимог ЄС по викидах забруднювачів у повітря при цільовому сценарії розвитку структури генеруючих потужностей**

Заходи по розвитку теплової енергетики, спрямовані на забезпечення викидів забруднювачів у повітря, що відповідають вимогам ЄС	Обсяг впровадження на ТЕС, ГВт	
	до 2016 року	2016–2020 рр.
Вугільні ТЕС		
Проведення реабілітації існуючих енергоблоків КЕС, термін роботи яких продовжено, з встановленням систем зниження викидів золи, окислів сірки та азоту	1 – 1.5	–
Впровадження енергоблоків на суперкритичні параметри пари	1.5 – 2.5	24 – 25
Впровадження енергоблоків з котлами ЦКШ	1 – 1.1	1.5 – 1.6
Впровадження сучасних технологій комбінованого виробництва електроенергії та тепла на ТЕЦ	0.2-0.4	0.5 – 0.9
Газомазутні ТЕС		
Продовження терміну роботи енергоблоків на КЕС з реалізацією комплексу заходів по зниженню викидів окислів азоту	1.4 – 2.2	1.6 – 2.4
Встановлення надбудов ГТУ на енергоблоках КЕС, термін роботи яких продовжено	0.2 – 0.4	0.6 – 1
Продовження терміну роботи енергоблоків на ТЕЦ з реалізацією комплексу заходів по зниженню викидів окислів азоту	1 – 1.5	2 – 3
Впровадження сучасних технологій комбінованого виробництва електроенергії та тепла	0.15 – 0.3	1 – 1.2

Таблиця 4. **Обсяги необхідних технічних заходів в тепловій енергетиці для забезпечення виконання вимог ЄС по викидах забруднювачів у повітря при додатковому сценарії розвитку структури генеруючих потужностей***

Заходи по розвитку теплової енергетики, спрямовані на забезпечення викидів забруднювачів у повітря, що відповідають вимогам ЄС	Обсяг впровадження на ТЕС, ГВт	
	до 2016 року	2016–2020 рр.
Вугільні ТЕС		
Проведення реабілітації існуючих енергоблоків КЕС, термін роботи яких продовжено, з встановленням систем зниження викидів золи, окислів сірки та азоту	1.5 – 2.5	5.5 – 7.5
Впровадження енергоблоків на суперкритичні параметри пари	1 – 1.5	15 – 16
Впровадження енергоблоків з котлами ЦКШ	1 – 1.1	1.5 – 1.6
Впровадження сучасних технологій комбінованого виробництва електроенергії та тепла на ТЕЦ	0.2-0.4	0.5 – 0.9

* – для газомазутних ТЕС аналогічно цільовому сценарію.

ковий, який передбачає, що при реконструкції існуючих ТЕС в період 2016–2020 років частково будуть реалізовані проекти реабілітації існуючих енергоблоків II рівня з впровадженням достатніх для забезпечення виконання вимог ЄС по викидах забруднювачів в повітря систем скорочення таких викидів. Обсяги необхідних технічних заходів для забезпечення виконання вимог ЄС по викидах забруднювачів у повітря для цих сценаріїв наведені в таблицях 3 та 4.

Реалізація цільового сценарію буде можливою за умови успішної реалізації проектів з реконструкції існуючих ТЕС на базі новітніх вугільних технологій та налагодження виробництва в країні відповідного обладнання в період до 2015 року, в іншому випадку реалістичним залишається додатковий сценарій. Поряд з цим, і його реалізація потребує, як мінімум, налагодження виробництва в Україні систем очищення газів, що відходять від котлоагрегатів.

ВИСНОВКИ

1. Головним стратегічним напрямком екологізації теплової енергетики України має стати впровадження новітніх вугільних технологій.
 2. Доведення показників викидів теплової енергетики до вимог ЄС в період до 2016 року забезпечити неможливо, що обумовлено необхідністю в період 2009–2015 років залучення інвестицій обсягом 16–17 млрд. дол. США та в стислі терміни проведення на 27–28 ГВт потужностей ТЕС заходів з продовження терміну роботи енергоблоків зі встановленням на вугільних енергоблоках систем очищення викидів забруднювачів, а на газомазутних енергоблоках реалізації первинних заходів по зниженню викидів окислів азоту та встановлення систем зниження їх викидів.
 3. Певний негативний досвід стосовно реалізації в Україні проектів з реабілітації існуючих ТЕС відповідно до II та III рівнів, відсутність досвіду впровадження та експлуатації систем очищення від викидів окислів сірки та азоту, їх виробництва, як і виробництва котельного обладнання, потребує особливої уваги до відпрацювання питань реконструкції на пілотних проектах, реалізація яких повинна стати пріоритетним завданням у найближчі роки. Саме на досвіді реалізації таких проектів можливо обґрунтовано зробити вибір конкретних технічних рішень, найбільш доцільних до широкомасштабного впровадження в електроенергетиці України. Тому для мінімізації ризиків доцільно в період до 2015 року відпрацювати як варіанти реконструкції існуючих ТЕС на основі їх реабілітації згідно з II рівнем з встановленням засобів зниження викидів забруднювачів у повітря, так і варіанти з реконструкцією на основі впровадження новітніх вугільних технологій.
 4. Реалізація амбітних планів досягнення рівня викидів забруднювачів у повітря, які відповідають вимогам ЄС, потребує вирішення проблеми виробництва сучасного котельного обладнання та систем очищення викидів від окислів сірки та золи, у першу чергу, шляхом кооперації з провідними їх виробниками та розробниками.
1. Матеріали сайту Міністерства навколишнього природного середовища України з регулювання викидів від стаціонарних джерел. Режим доступу: www.menr.gov.ua
 2. Визначення необхідних заходів в тепловій енергетиці України для забезпечення вимог Європейського Союзу до рівнів викидів забруднювачів в повітряний басейн: Звіт про НДР / ІЗЕ НАН України – № ДР 0106U009134. – К., 2008. – 181 с.
 3. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 22.10.2008 р. №541 “Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт”.
 4. DIRECTIVE 2001/80/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants 27.11.2001 Official Journal of the European Communities L 309/1, p. 1–21.
 5. Розпорядження КМ України від 15 березня 2006 р. N 145-р “Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року”.
 6. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 липня 2006 р. N 436-р “Про затвердження плану заходів на 2006–2010 роки щодо реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2030 року”.
 7. *Борисов М.А.* Розвиток теплової енергетики України на основі модернізації основного тепломеханічного обладнання ТЕС: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.14.01 “Енергетичні системи та комплекси” / М.А.Борисов. – К., 2008. – 23 с.
 8. Аналіз основних можливих заходів щодо зниження викидів окислів сірки – концепція вирішення проблеми /М.Г.Гусар, Я.Д.Демчук, С.В.Гірченко //Енергетика та електрифікація. – 2009. – №9. – С. 57–61.
 9. *Шульженко С.В.* Особливості розрахунку вартісних показників у задачах прогнозування розвитку електроенергетичних систем за ринкових умов їх функціонування //Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №18. – С. 16–20.
 10. *Мейер Х.И., Тумановский А.Г., Котлер В.Р.* Проект эффективного энергоблока мощностью 600 МВт на каменном угле // Электрические станции. – 2005. – №6. – С. 67-71.