

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

УДК 532.529

С.В. ДУБОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, **В.С. КОБЕРНИК**
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ОЦІНКИ ПЕРСПЕКТИВНИХ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

Проведено техніко-економічні розрахунки перспективних природоохоронних технологій теплової енергетики України, що забезпечують досягнення сучасних норм викидів основних забруднювачів атмосферного повітря від потужних ТЕС, згідно з вимогами Директиви Європейського парламенту та Ради 2001/80/ЄС. Показано, що в умовах ринкової конкуренції впровадження природоохоронних технологій високої ефективності на енергоблоках ТЕС стане інвестиційно привабливим за умов збільшення податку на викиди основних забруднювачів до 10 разів до рівнів, встановлених згідно з Податковим кодексом України. При цьому середній рівень ринкової ціни реалізації електричної енергії від ТЕС зросте на 55–60%.

К л ю ч о в і с л о в а: тепла енергетика, природоохоронні технології, димові гази, податок за викиди.

Досягнення стану екологічно безпечного функціонування теплових електростанцій України є достатньо складною технічною проблемою, вирішення якої необхідно розглядати у контексті загального процесу технологічного розвитку енергетики країни. Сьогоднішній незадовільний стан природоохоронних технологій енергетики України, що характеризується недостатньою ефективністю уловлення твердих частинок і відсутністю засобів скорочення викидів оксидів азоту та сірки в атмосферне повітря з димовими газами ТЕС, зумовлений їх недофінансуванням в останні три десятиріччя.

Можливість економічно необтяжливого використання природного газу на теплових електростанціях, що існувала до 2005 року включно, дозволяла штучно обмежувати антропогенні викиди за рахунок сумісного спалювання вугілля і природного газу. Поряд із цим, екологічні проблеми теплової енергетики були в останні два десятиріччя суттєво пом'якшені через загальне падіння рівнів виробництва електричної енергії на ТЕС. Згідно з даними Національного кадастру антропогенних викидів України у 1990 – 2008 рр. загальні викиди

оксидів сірки та азоту від спалювання палива в енергетичних установках знизилися більш як вдвічі.

Означені фактори, підсилені дією ринкових механізмів економічної діяльності, а також політикою стримування цін і тарифів на електричну енергію з боку держави, не створювали належної економічної мотивації до впровадження високоефективних, однак дорогих технологій природоохоронної діяльності.

Починаючи з 2005 р., внаслідок дорожчання природного газу і мазуту та прийнятої політики щодо переведення енергетики країни на власні паливні ресурси, проблеми природоохоронної діяльності почали набирати актуальність. А останнім часом вони і значно загострились у зв'язку з приєднанням України до Договору про заснування Енергетичного співтовариства, ратифікованого Законом України від 15.12.2010 № 2787.

Зазначений договір зобов'язує сторони до 31 грудня 2017 року виконати вимоги Директиви Європейського парламенту та Ради 2001/80/ЄС «Про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин в атмосферу з великих спалювальних установок» від 23.10.2001. На виконання цих вимог Україною були прийняті Технологічні нормативи допустимих викидів

© ДУБОВСЬКИЙ С.В., КОБЕРНИК В.С., 2013

забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт, затверджені наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 22.10.2008 № 541, які передбачають оснащення енергогенеруючих об'єктів газоочисним устаткуванням з метою доведення питомих викидів до рівня європейських нормативів у період до 31 грудня 2015 р. з пилу й оксидів азоту і до 31 грудня 2017 р. з оксидів сірки. Для підсилення економічної мотивації щодо впровадження необхідного комплексу природоохоронних технологій були прийняті також зміни до Податкового кодексу України, що значно збільшили рівень зборів за викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище [1].

Попередній аналіз проблеми показує, що її вирішення традиційними шляхами, які пройшли у свій час розвинені країни світу, лежить за межами економічних можливостей України. У зв'язку з цим створюються стимули для пошуку економічно реальних шляхів виконання екологічних зобов'язань або мінімізації економічних наслідків від їх можливого несвоєчасного виконання на основі аналізу світового досвіду.

Економічний аналіз природоохоронних технологій в енергетиці здійснюється за двома різними напрямками: аналіз прибутковості проектів; аналіз порівняної вартості електричної енергії.

Аналіз прибутковості застосовується звичайно до конкретних проектів і має на меті визначення доцільності і необхідних умов залучення інвестицій у конкретні об'єкти енергетики. Відповідний метод аналізу регламентується чинними нормативно-технічними документами галузі. За результатами аналізу щодо певної кількості об'єктів інвестування можуть прийматися урядові рішення про застосування тих чи інших економічних преференцій для інвесторів у перспективні технології енергетики.

Що стосується формування суспільних уподобань щодо розвитку напрямів технологій енергетики, то тут більш ефективними є методи порівняльної оцінки вартості електричної енергії. Такі методи призначені для визначення найбільш оптимальних за економічними та екологічними показниками технологій у реальних умовах функціонування електричних станцій (енергоблоків) за життєвий цикл. У ролі критерію оптимальності у світовій практиці

останніми роками використовується середня зважена вартість електричної енергії за життєвий цикл, що позначається скорочено LCOE (Levelised Cost of Energy) [2]. Вона являє собою середню ціну електричної енергії, яка забезпечує самоокупність джерела її виробництва за весь цикл його існування – від початку проектування до демонтажу.

З економічної точки зору цей показник враховує всі витрати впродовж життєвого циклу – початкові інвестиції, витрати на утримання і ремонт обладнання, ціни палива та ін. Він обчислюється за загальною формулою:

$$c^* = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}},$$

де c^* – середня зважена ціна електричної енергії за життєвий цикл, грн/кВт·год; t – поточний вік системи з початку спорудження (індекс у складових витрат); n – термін існування проекту, роки; I_t – інвестиції, грн; M_t – витрати на обслуговування та ремонт, грн; F_t – умовно змінні витрати, грн; E_t – виробництво електричної енергії нетто, кВт·год; r – дисконтна ставка (дисконт), що відображує швидкість здешевлення інвестицій з роками.

Вплив природоохоронних технологій на економічну ефективність електростанції враховується у всіх складових щорічних витрат. Інвестиційна складова I_t включає в себе початкові витрати на впровадження природоохоронних технологій. Ці витрати складаються не тільки з вартості природоохоронних технологій «під ключ», а й включають вартість обслуговування кредиту.

Витрати на обслуговування і ремонт газочисних установок враховуються у сталих щорічних витратах, а витрати на реагенти і витратні матеріали – у змінних витратах. Крім того, змінні витрати включають у себе особливу складову – екологічні платежі ТЕС за викиди шкідливих речовин.

Характеристики різних технологій скорочення шкідливих викидів розглядалися у багатьох роботах. Результати аналізу літературних даних щодо техніко-економічних показників основних технологій уловлювання викидів з вихідних газів котельних установок наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Показники технологій уловлювання викидів з вихідних газів котельних установок

| Технологія очищення | Питомі капітальні витрати, дол. США/кВт | Питомі експлуатаційні витрати, цент США/(кВт·год) | ККД, % | Питома енергоспоживання, % |
|---|---|---|--------|----------------------------|
| Двооксид сірки (за даними [3, 4]) | | | | |
| Суша вапняна | 63,75 | 0,7 | 60 | 0,2 |
| Мокросуха спрощена | 85 | 0,7 | 95 | 0,03 |
| Мокра вапняна | 127,5 | 0,7 | 97,5 | 1,7 |
| Оксиди азоту | | | | |
| Маловитратні технології ([5]) | | | | |
| Малотоксичні пальники | 3,04 | | 40 | |
| Двоступінчасте спалювання | 3,65 | | 30 | |
| Треступінчасте спалювання | 5,8 | | 50 | |
| Малотоксичні пальники і ступінчасте введення повітря | 15,2 | | 70 | |
| Витратні технології ([6–8]) | | | | |
| Селективне некаталітичне відновлення з аміаком (СНКВ) | 8 | 0,14 | 62 | 0,2 |
| Селективне каталітичне відновлення з аміаком (СКВ) | 25 | 0,5 | 90 | 1,25 |
| Пилові частинки ([3, 9, 10]) | | | | |
| Електрофільтр | 35 | 1,4 | 99,4 | 0,5 |
| Рукавний фільтр | 23,5 | 1,7 | 99,8 | 1,2 |

Для проведення розрахунків раціональних напрямів впровадження природоохоронних технологій на теплових електростанціях країни було розроблено програмно-інформаційний комплекс порівняльної оцінки вартості електричної енергії при впровадженні відомих технологій очищення від викидів основних забруднюючих речовин, які надходять у атмосферне повітря з димовими газами, що утворюються під час спалювання органічного палива в енергетичних установках.

Комплекс складається з таких модулів: 1) формування варіантів природоохоронних технологій; обчислення показників очищення: 2) від двооксиду сірки; 3) від оксидів азоту; 4) від пилових частинок; 5) сумісного очищення від двооксиду сірки і оксидів азоту; 6) сумарних витрат. Кожний з модулів 3 – 6 складається з підпрограм – функцій розрахунку: 1) капітальних витрат; 2) експлуатаційних витрат; 3) ККД; 4) енергоспоживання.

Порівняльні техніко-економічні розрахунки проводили з використанням таких вихідних даних: встановлена електрична потужність енергоблока – 300 МВт; нижча робоча теплота згоряння палива (вугілля) – 21,16 МДж/кг; вміст сірки в вугіллі – 1,7%; кількість годин роботи енергоблока – 6600 год/рік; питома витрата умовного палива на виробництво електричної енергії до реконструкції – 0,365 кг у.п./кВт·год; питома витрата умовного палива на виробництво електроенергії після проведення реконструкції (без встановлення сірката азотоочищення) – 0,335 кг у.п./кВт·год; ККД енергоблока нетто до реконструкції – 33,6%; вартість вугілля – 1,1 грн/кг у.п.; вартість вапна – 1,0 грн/кг; термін існування проекту – 15 років; ставка по кредиту – 19%; дисконтна ставка – 0,07; курс гривні – 8,0 грн/дол. США; ставка податку за забруднення повітря оксидами сірки – 1221 грн/т [1]; ставки податку за забруднення повітря оксидами азоту – 1221 грн/т [1]; ставки податку за забруднення повітря твердими частинками – 46 грн/т [1].

Розрахунки очищення димових газів від забруднюючих речовин проводили для варіантів, які наведені у табл. 2. У ролі базового варіанта вибрано варіант з очищенням димових газів лише від твердих частинок у новому електрофільтрі, обладнання для очищення від двооксиду сірки і оксидів азоту не встановлене.

Результати розрахунків вихідних концентра-

цій основних забруднюючих речовин і економічних показників енергоблока наведено у табл. 3.

Наведені дані свідчать про те, що за чинних значень податків на викиди основних забруднюючих речовин з вихідними газами згідно з Податковим кодексом України встановлення природоохоронного обладнання приводить до збільшення середньої ціни виробництва електричної енергії за всіма технологіями, крім технології, що передбачає реконструкцію енергоблоків із заміною електрофільтрів на нові, більш ефективні. Отже, в умовах ринкової конкуренції впровадження природоохоронних технологій високої ефективності на окремих енергоблоках ТЕС не є інвестиційно привабливим за чинних значень податків на викиди.

Проведено розрахунки середньої вартості електричної енергії за життєвий цикл за умов збільшення ставок податків на викиди основних забруднюючих речовин (у 2, 6, 8, 10 разів). Результати розрахунків очищення димових газів від основних забруднюючих речовин при збільшених ставках податків наведено у табл. 4. На рисунку показано середні вартості електричної енергії за життєвий цикл залежно від кратності збільшення плати за викиди для базового (8) варіанта і варіанта з мінімальною кінцевою концентрацією викидів (12).

Наведені дані середньої вартості електричної енергії за життєвий цикл при встановленні природоохоронного обладнання показують, що вона дорівнює 1,137 грн/кВт·год у варіанті з максимальним очищенням (12) і стає близькою за економічністю з базовою (1,125 грн/кВт·год) за умов збільшення ставок податків на викиди основних забруднювачів більш як у 8 разів до рівнів, встановлених згідно з Податковим кодексом України.

В умовах ринкової конкуренції впровадження природоохоронних технологій високої ефективності на окремих енергоблоках ТЕС стане інвестиційно привабливим за умов збільшення податку на викиди основних забруднюючих речовин до 10 разів до рівнів, встановлених згідно з Податковим кодексом України.

У табл. 5 надані дані з плати за викиди забруднюючих речовин в окремих європейських країнах і в Україні. Наведені дані показують, що плата за викиди двооксиду сірки і оксидів азоту в Україні більша, ніж у Франції та Італії, але значно менша, ніж у Данії та Швеції

Таблиця 2 – Розрахункові варіанти технологій очищення від викидів

| Викиди | Варіант | | | | | |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Двооксид сірки | - | мокросуха | суха вапняна | мокросуха | суха вапняна | суха вапняна |
| Оксиди азоту | двоступеневе спалювання | двоступеневе спалювання | двоступеневе спалювання | СКВ | СКВ | СКВ |
| Пилові частинки | електрофільтр | електрофільтр + рукавний фільтр | електрофільтр | електрофільтр + рукавний фільтр | електрофільтр | електрофільтр |
| | 7 | 8 (базовий) | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Двооксид сірки | мокросуха | - | суха вапняна | мокра вапняна | мокра вапняна | мокра вапняна |
| Оксиди азоту | СКВ | - | - | двоступеневе спалювання | СКВ | СКВ |
| Пилові частинки | електрофільтр + рукавний фільтр | електрофільтр | електрофільтр | електрофільтр + рукавний фільтр | електрофільтр + рукавний фільтр | електрофільтр + рукавний фільтр |

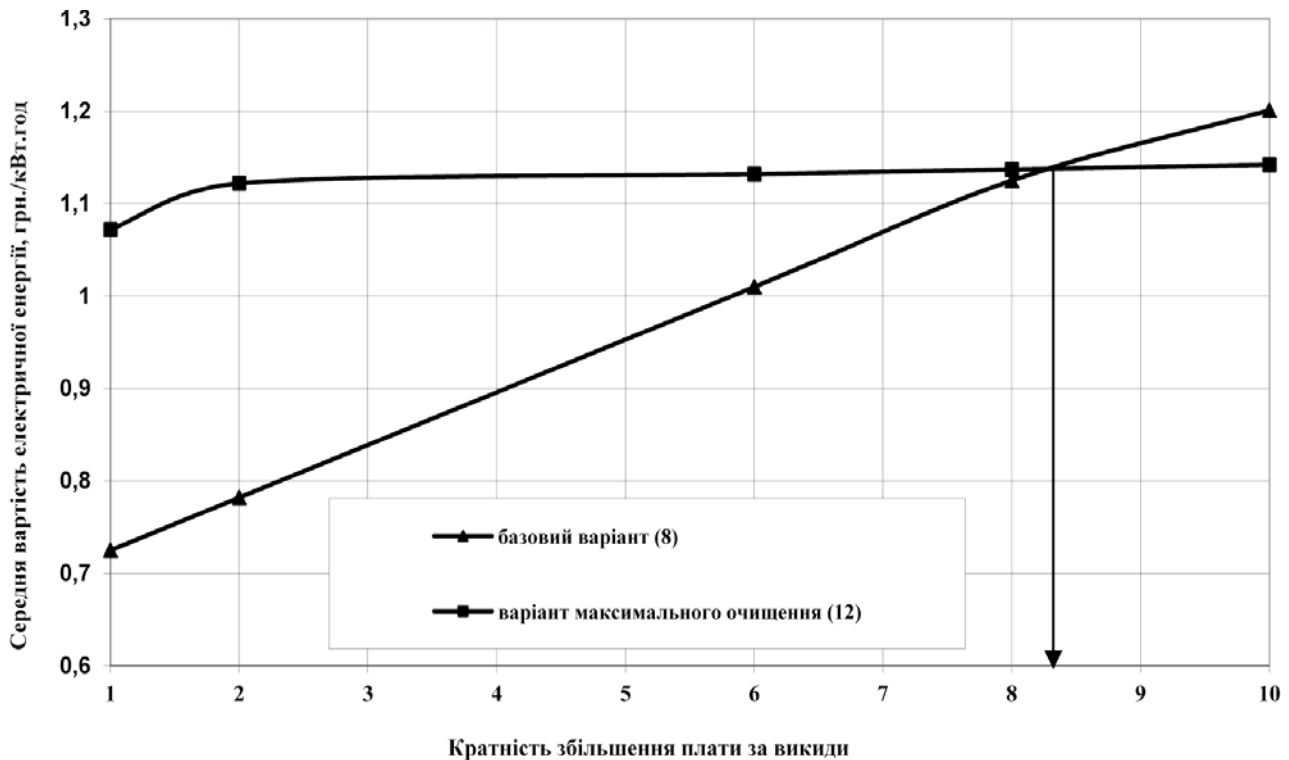
Таблиця 3 – Кінцеві концентрації і середня вартість електричної енергії при впровадженні технологій скорочення викидів забруднюючих речовин (плата за викиди згідно з Податковим кодексом України [1])

| Викиди | Концентрація фактична, мг/нм ³ (2009 р.) | Норми викидів, мг/нм ³ | Варіант | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| SO ₂ | 3300 | 400 | 3300 | 165 | 1320 | 165 | 1320 | 1320 | 165 | 3300 | 1320 | 165 | 3300 | 1320 | 82,5 | 82,5 |
| NO _x | 1050 | 400 | 525 | 525 | 105 | 105 | 420 | 420 | 1050 | 1050 | 420 | 1050 | 1050 | 420 | 420 | 105 |
| Тверді частинки | 1200 | 50 | 130,9 | 43,64 | 130,9 | 43,64 | 130,9 | 43,64 | 130,9 | 130,9 | 43,64 | 130,9 | 130,9 | 43,64 | 43,64 | 43,64 |
| Середня вартість електроенергії за життєвий цикл, грн/кВт-год | | | 0,725 | 0,867 | 0,801 | 1,011 | 0,940 | 0,822 | 0,889 | 0,725 | 0,802 | 0,922 | 0,802 | 0,944 | 1,072 | 1,072 |
| У т.ч. витрати, пов'язані з скороченням викидів, грн/кВт-год | | | 0,239 | 0,381 | 0,316 | 0,525 | 0,454 | 0,337 | 0,403 | 0,239 | 0,316 | 0,436 | 0,239 | 0,458 | 0,586 | 0,586 |

* – середня вартість електричної енергії, виробленої енергоблоком без реконструкції, – 0,678 грн/кВт-год.

Таблиця 4 – Середня вартість електричної енергії при впровадженні технологій скорочення викидів

| Показник | Варіант | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Середня вартість електроенергії (плата за викиди збільшена у 2 рази), грн/кВт·год | 0,778 | 0,920 | 0,828 | 1,058 | 0,959 | 0,845 | 0,937 | 0,782 | 0,833 | 0,976 | 0,995 | 1,122 |
| у т.ч. витрати, пов'язані із скороченням викидів (плата за викиди збільшена у 2 рази), грн/кВт·год | 0,292 | 0,434 | 0,343 | 0,572 | 0,473 | 0,359 | 0,451 | 0,296 | 0,347 | 0,491 | 0,509 | 0,636 |
| Середня вартість електроенергії (плата за викиди збільшена у 6 разів), грн/кВт·год | 0,989 | 0,967 | 0,936 | 1,072 | 1,034 | 0,935 | 0,967 | 1,010 | 0,957 | 1,019 | 1,020 | 1,132 |
| у т.ч. витрати, пов'язані із скороченням викидів (плата за викиди збільшена у 6 разів), грн/кВт·год | 0,504 | 0,481 | 0,451 | 0,586 | 0,548 | 0,449 | 0,481 | 0,525 | 0,472 | 0,533 | 0,534 | 0,646 |
| Середня вартість електроенергії (плата за викиди збільшена у 8 разів), грн/кВт·год | 1,095 | 0,991 | 0,990 | 1,079 | 1,071 | 0,980 | 0,982 | 1,125 | 1,020 | 1,041 | 1,033 | 1,137 |
| у т.ч. витрати, пов'язані із скороченням викидів (плата за викиди збільшена у 8 разів), грн/кВт·год | 0,610 | 0,505 | 0,505 | 0,593 | 0,585 | 0,495 | 0,496 | 0,639 | 0,534 | 0,555 | 0,547 | 0,651 |
| Середня вартість електроенергії (плата за викиди збільшена у 10 разів), грн/кВт·год | 1,201 | 1,014 | 1,044 | 1,086 | 1,109 | 1,026 | 0,996 | 1,239 | 1,082 | 1,062 | 1,045 | 1,142 |
| у т.ч. витрати, пов'язані із скороченням викидів (плата за викиди збільшена у 10 разів), грн/кВт·год | 0,715 | 0,528 | 0,559 | 0,600 | 0,623 | 0,540 | 0,511 | 0,753 | 0,596 | 0,576 | 0,559 | 0,656 |



Середня вартість електричної енергії за життєвий цикл залежно від кратності збільшення плати за викиди згідно з Податковим кодексом України (2010 р.)

Таблиця 5 – Нормативи плати за викиди забруднюючих речовин в європейських країнах і в Україні (євро/т) [4]

| Країна | Забруднюючі речовини | |
|--|----------------------|-----------------|
| | SO ₂ | NO _x |
| Данія | 5400,00 | - |
| Франція | 27,40 | 22,90 |
| Італія | 53,20 | 105,00 |
| Швеція | 6940,00 | 4630,00 |
| Україна (1 € = 10,55 грн курс НБУ 01.2013) | 116 | 116 |
| Україна (збільшення у 8 разів) | 928 | 928 |
| Україна (збільшення у 10 разів) | 1160 | 1160 |

і залишиться меншою навіть при її збільшенні у 10 разів до рівнів, встановлених згідно з Податковим кодексом України.

ВИСНОВКИ

1. Впровадження ефективних технологій скорочення викидів основних забруднювачів атмосферного повітря згідно з сучасними вимогами, регламентованими Директивою Європейського парламенту та Ради 2001/80/ЄС у ході реконструкції існуючих енергоблоків ТЕС з подовженням ресурсу їх роботи на 15–20 років потребує значних додаткових інве-

стицій у природоохоронні заходи. Однак в умовах ринкової конкуренції впровадження природоохоронних технологій високої ефективності на окремих енергоблоках ТЕС не є інвестиційно привабливим за чинних значень податків на викиди.

2. Створення фінансового підґрунтя для забезпечення достатньої привабливості приватних інвестиційних вкладень у природоохоронні заходи високої ефективності можливе за рахунок збільшення рівня податку на викиди до 10 разів, що призведе до зростання середнього рівня ринкової ціни реалізації електрич-

ної енергії від ТЕС на 50–60%.

3. У зв'язку з цим необхідно приділяти більшій увазі науковому пошуку та сприянню впровадженню новітніх науковомісних технологій природоохоронної діяльності, здатних забезпечити достатню ефективність скорочення викидів основних забруднювачів без істотного зростання цін на електричну енергію від ТЕС.

1. *Податковий кодекс України* від 02.12.2010. Стаття 243.1 // *Голос України*. 04.12.2010.
2. *Projected Costs of Generating Electricity*. – Nuclear energy agency. International energy agency, 2010. – 230 p.
3. *Долгополов В.Н.* Системы DALSIKA газифицируют золу угольных ТЭС // *Будівництво. Наука. Економіка*. – 2012. – № 1. – С. 1–19.
4. *Біла С.О.* Державне регулювання екологізації виробництва в Україні: реалії та перспективи // *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. Серія: економічна. – 2008. – Вип. 33-2. – С. 19–26.
5. *Котлер В.Р.* Одновременное улавливание оксидов азота и серы из дымовых газов котлов // *Электрические станции*. – 1997. – № 2. – С. 59–67.
6. *Ольховский Г.Г., Тумановский А.Г., Глебов В.П.* и др. Проблемы охраны воздуш-

ного бассейна от воздействия тепловых электростанций и их решение // *Изв. РАН. Энергетика*. – 1997. – № 5. – С. 5–19.

7. *Ежова Н.Н., Власов А.С., Делицын Л.М.* Современные методы очистки дымовых газов // *Экология промышленного производства*. – 2006. – № 2. – С. 50–57.

8. *Ходаков Ю.С., Еремин Л.М., Алфеев А.А.* Современное состояние исследований по денитрификации дымовых газов ТЭС // *Изв. РАН. Энергетика*. – 1997. – № 5. – С. 74–100.

9. *Попета В.В.* Использование рукавных фильтров для улавливания ванадийсодержащей золы продуктов сгорания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sovstroymat.ru/2000_07_05.php

10. *Степанов А.В., Кухарь В.П.* Достижения энергетики и охрана окружающей среды. – К.: Наукова думка, 2004. – 206 с.

Надійшла до редколегії 15.01.2013

*Рецензент:
Заступник директора
ІЗЕ НАН України,
канд. техн. наук
Дрьомін В.П.*