

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

УДК 621.311

Т.П. НЕЧАЄВА, А.І. СПІТКОВСЬКИЙ, канд. біол. наук
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ТА ОБСЯГІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОНАННЯ ГАРМОНІЗОВАНИХ НОРМАТИВІВ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЧІВ У ПОВІТРЯ В ОЕС УКРАЇНИ

Розглянуто проблеми виконання гармонізованих нормативів викидів забруднювачів у повітря в Об'єднаній енергосистемі України у контексті забезпечення можливості її спільної роботи з об'єднанням енергосистем європейських країн. Наведено методичні підходи щодо оцінки ефективності та обсягів впровадження заходів для забезпечення їх виконання. Проведено оцінку обсягів впровадження заходів для досягнення гармонізованих нормативів викидів в ОЕС України до 2018 року та визначено, що їх реалізація за такий стислий період неможлива.

К л ю ч о в і с л о в а: електроенергетика, технологія генерації, гармонізовані нормативи, викиди забруднювачів, парникові гази.

Приєднання до Енергетичного Співтовариства та курс на об'єднання української енергосистеми з об'єднанням енергосистем європейських країн ENTSO-E поставили перед українською електроенергетикою складне завдання виконання вимог директиви Європейського парламенту й Ради Європи 2001/80/ЕС [1] досягнення граничного рівня вмісту таких забруднюючих речовин, як діоксид сірки, оксиди азоту й тверді частинки у димових газах теплоенергетичних станцій за досить обмежений термін – до 1 січня 2018 року. На сьогодні фактичні концентрації цих забруднюючих речовин у димових газах теплових електростанцій України в кілька разів перевищують відповідні європейські нормативи (за оцінками НАК «Енергетична компанія України» [2], твердих частинок – у 24 рази, SO₂ – у 8 разів та NO_x – у 5 разів). Таке перевищення зумовлено незадовільним станом вітчизняного генеруючого обладнання, низькими екологічними вимогами до його функціонування, високим вмістом сірки та золи у вугіллі, що спалюється в енергетичних котлах, недостатньою ефективністю пилоочищення та відсутністю газоочисного обладнання.

© Т.П. НЕЧАЄВА, А.І. СПІТКОВСЬКИЙ, 2012

Майже всі енергоблоки ТЕС введено в роботу понад 30 років тому, вони мають морально застаріле та зношене обладнання – понад 92 % енергоблоків відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. год), з них 64 % перетнули межу паркового ресурсу (170 – 220 тис. год) і потребують модернізації або заміни. Вичерпання ресурсу генеруючих потужностей, їх робота у непроєктних змінних режимах, використання непроєктного палива погіршеної якості призводять до збільшення питомих витрат палива. Реальний ККД діючих блоків низький (для блоків 150–200 МВт – 28–32 %; 300 МВт – 30–34 % [3]), тоді як на сучасних ТЕС розвинених країн цей показник досягає 45%.

Зниження рівнів викидів забруднюючих речовин у повітря на ТЕС можна досягти підвищенням ККД, використанням палива з низьким вмістом золи і сірки, встановленням сучасного газоочисного обладнання. Найменш витратним шляхом є підвищення ККД котла та енергоблока в цілому. Зниження питомих витрат палива веде до зменшення його споживання і відповідного скорочення валових викидів забруднюючих речовин у повітря. Збагачення палива зі зниженням вмісту сірки та золи надає змогу майже вдвічі скоротити

викиди оксидів сірки і твердих частинок. Однак таке підвищення якості палива призводить до його подорожчання, що збільшує паливну складову у собівартості електроенергії, і дозволяє вилучити лише піритну сірку (до 50 % від її вмісту). Найбільш ефективним шляхом підвищення ступеня очищення димових газів від забруднюючих речовин є проведення реконструкції існуючого пилоочисного обладнання та будівництво нових установок пилогазоочистки. На ТЕС України використовуються електрофільтри, мокрі скрубери та батарейні циклони, ефективність яких становить від 85 до 98 %, що не відповідає сучасним екологічним вимогам. Забезпечення очищення димових газів до нормативних концентрацій твердих частинок 30 – 50 мг/м³ вимагає підвищення ефективності пилоочищення до 99,0–99,9 %. Такого підвищення ККД пиловловлювачів можна досягти лише при заміні на нові, високоефективні сучасні електрофільтри. Останніми роками електрофільтри було замінено тільки на окремих блоках Бурштинської, Зміївської, Трипільської, Вуглегірської та Криворізької ТЕС. На сьогодні необхідний рівень пилоочищення досягнуто на енергоблоках № 8 Зміївської ТЕС та №4 Старобешівської ТЕС після проведення кардинальної реконструкції. При цьому на Старобешівській ТЕС застосовується екологічно чиста технологія спалювання низькосортного вугілля в циркулюючому киплячому шарі з показниками викидів, що відповідають європейським нормативам.

Для досягнення гармонізованих нормативів викидів у повітря діоксиду сірки та оксидів азоту необхідно оснащення вітчизняних вугільних енергоблоків ТЕС комплексними сучасними системами сіркоазотоочистки. При цьому генеруючі компанії стикаються зі значними складнощами: фінансовими, зумовленими як недостатністю коштів, так і високою вартістю такого обладнання, потребою у додатковому просторі для його розміщення, що не було передбачено проектами існуючих електростанцій, відсутністю типових рішень з його встановлення, що зумовлено їх залежністю від типу котлів та складу палива, а також проблемою поводження з утвореними відходами газоочистки. Також в Україні немає достатніх дослідних та дослідно-промислових напрацювань для застосування новітніх систем сірко-

та азотоочистки. Загальностанційні установки сіркоочистки є масштабними спорудами, витрати на які становлять половину вартості нового енергоблока, з тривалими термінами будівництва (за оцінками фахівців, майже до 5 років), їх встановлення вимагає виведення з роботи енергоблока. При одночасному виведенні з роботи хоча б по одному енергоблоку ТЕС це може привести до значних проблем у функціонуванні енергосистеми в цілому. Тому при паралельній роботі енергокомпанії не можуть виводити в реконструкцію одночасно більше 1-2 енергоблоків.

Додаткові складнощі в оснащенні існуючих енергоблоків сіркоочисними установками (СОУ) зумовлені такими чинниками:

- зниження ККД електростанції через збільшення витрат електроенергії на власні потреби СОУ на рівні 1,0 – 3,0 % ;
- досить високі експлуатаційні витрати таких систем;
- більшість СОУ ефективно працюють при роботі енергоблоків у базовому навантаженні, при змінних режимах їх ефективність знижується;
- несумісність практично всіх типів СОУ з вітчизняною практикою гідравлічного видавлення золошлаків (4).

Проведення реконструкції на фізично та морально застарілих енергоблоках продовжить термін їх роботи лише на 10–15 років, тому встановлення високовитратного газоочисного обладнання, враховуючи термін його експлуатації (за оцінками, робочий ресурс мокро-вапнякових сіркоочисників становить приблизно 50 років), на таких об'єктах є економічно та технічно недоцільним.

Тому актуальним є проведення досліджень з оцінки ефективності та визначення обсягів впровадження заходів для забезпечення виконання гармонізованих нормативів викидів забруднювачів у повітря в Об'єднаній енергосистемі України (ОЕС) у контексті її спільної роботи з об'єднанням енергосистем європейських країн. При цьому необхідно оцінити можливості та обсяги проведення реконструкції та модернізації існуючих генеруючих потужностей, враховуючи такі важливі фактори, як їх поточний технічний та екологічний стан, необхідність значних капіталовкладень. Така оцінка проводиться при прогнозуванні розвитку структури генеруючих потужностей

ОЕС України. При цьому враховується поточний стан та перспективні плани щодо розвитку атомної енергетики України з можливою корекцією рішень, закладених в Енергетичній стратегії України до 2030 року. Ще одним фактором, який може суттєво вплинути на розвиток і функціонування ОЕС України, є широке впровадження потужностей на відновлювальних джерелах енергії, що стимулюється прийнятими на законодавчому рівні «зеленими» тарифами на електроенергію, вироблену з цих джерел. Робота вітрових та сонячних електростанцій паралельно з енергосистемою мала б забезпечити поліпшення її екологічних показників, зокрема, зниження викидів парникових газів (ПГ). Але підключення до енергосистеми значного обсягу таких джерел з погано прогнозованою потужністю вимагає наявності достатнього «гарячого» резерву, яким в ОЕС України є традиційні теплові електростанції, які використовуються у маневреному режимі, що не тільки не зменшує загальні обсяги викидів забруднюючих речовин та парникових газів, а й, як показали дослідження [5], призводить до їх збільшення. Враховуючи стратегічний курс Євросоюзу на зменшення викидів ПГ та збільшення використання відновлюваних джерел енергії, екологічну стратегію нашої країни, проголошені зобов'язання щодо зниження їх викидів на 20 % до 2020 року, розвиток структури генеруючих потужностей ОЕС України має відбуватися за умов мінімізації викидів парникових газів.

Для визначення структури генеруючих потужностей, яка надасть змогу виконати об'єктами ОЕС гармонізовані нормативи викидів забруднювачів та мінімізувати викиди ПГ, використовуються оптимізаційні моделі. Критерієм оптимальності розвитку генеруючих потужностей визначено досягнення найменших загальносистемних витрат на виробництво електроенергії, що формалізується виразом:

$$\sum_t \sum_k (C_k^C X_{kt} + C_k^V Y_{kt} H_{kt}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де t – етапи моделювання, $t=1-T$, k – тип технології виробництва електроенергії з множини всіх можливих до розгляду технологій K ; C^C – постійні витрати, питома значення яких розраховується відносно встановленої потужності електростанції X ; C^V – змінні експлуатаційні

витрати, зумовлені участю електростанції в покритті графіків навантаження енергосистеми, які залежать від обсягів виробленої електроенергії; H – тривалість роботи встановленої потужності X , яка при покритті відповідної зони графіка електричного навантаження (ГЕН) використовується з фактичною потужністю Y , яка обмежується встановленою потужністю з урахуванням її готовності до несення навантаження: $Y_{kt} \leq d_k X_{kt}$, де d_k – коефіцієнт готовності ($0 < d_k < 1$).

До складу постійних витрат входять інвестиції в основні фонди, які під час експлуатації об'єкта повертаються через амортизаційні відрахування та в разі залучення кредитних коштів включають виплати кредитних зобов'язань за строк надання кредиту; постійні та умовно-постійні експлуатаційні витрати, пов'язані з оплатою праці, матеріалів, витратами на технічне і ремонтне обслуговування виробничих засобів, витрати, пов'язані з транспортом тощо.

До змінних експлуатаційних витрат входять витрати, пов'язані з закупівлею палива, проведенням непланових ремонтів (ліквідацією наслідків аварій) та прискореним зносом обладнання під час роботи в ненормальних режимах, використанням природних ресурсів (води) та забрудненням природного середовища. Ці витрати залежать від режиму використання технології, перш за все наявності щодобової зупинки енергоблоків, що приводить до зростання споживання палива і витрат на непланові ремонти, та величини потужності, що використовується.

Для врахування необхідності резервування нестабільної потужності ВЕС при паралельній роботі в енергосистемі в оптимізаційній моделі введено додаткові ГЕН, що моделюють найбільш складні режими сумісної роботи традиційних енергоджерел і вітрових електростанцій з максимальним та мінімальним використанням їх потужності під час мінімуму навантажень енергосистеми.

Показники оптимізаційної задачі, а саме, постійні та змінні експлуатаційні витрати технологій виробництва електроенергії, розраховано з використанням розроблених в Інституті загальної енергетики НАН України моделей їх життєвого циклу [6]. При цьому для технологій на органічному паливі проведено їх удосконалення за рахунок детального врахування

екологічних показників та заходів зниження викидів забруднювачів та парникових газів у повітря. Питомі показники викидів забруднюючих речовин таких технологій для характерних режимів їх роботи та якості палива, що використовується, визначено з використанням вітчизняних та європейських методик, розрахунок за якими реалізовано у програмно-інформаційному комплексі «Піраміда-V».

Для реалізації оптимізаційних математичних моделей оцінки ефективності та визначення обсягів впровадження заходів для забезпечення виконання гармонізованих нормативів викидів забруднювачів у повітря в ОЕС України використовувалась розроблена в ІЗЕ НАНУ підсистема «Матриця». Функціональним призначенням цієї підсистеми є підготовка та форматування вхідних даних для оптимізаційної моделі, запуск на виконання оптимізаційного пакета GLPK (GNU Linear Programming Kit), обробка результатів розрахунку та формування файлу з результатами оптимізації у формі, придатній для подальшого аналізу.

Дослідження проводилися за умови виконання об'єктами ОЕС гармонізованих нормативів викидів забруднювачів у повітря до 2018 року. Для цього проведено формування множини технологій виробництва електроенергії на органічному паливі K' , екологічні показники яких задовольняють умови Директиви 2001/80/ЄС, тому доцільні до розгляду в оптимізаційній задачі. Для існуючих потужностей визначено необхідні ступені зниження їх питомих викидів до нормативних вимог із застосуванням прийнятних режимно-технологічних заходів та технологій скорочення викидів забруднювачів відповідно до умови:

$$b_{kp'}(1 - ef_{k'p'}) \leq b_{p'}^n; \quad (2)$$

$$\forall k \in K', \forall p' \in P', \forall p \in P,$$

де p' – забруднююча повітря речовина з множини забруднюючих речовин P' , для яких встановлено нормативні обмеження; $b_{kp'p}$; $b_{p'p}^n$ – відповідно фактичні та нормативні питомі викиди забруднюючої речовини p' при спалюванні палива p з множини палив P технологією k ; $ef_{k'p'}$ – ефективність технологічних заходів або технологій k' скорочення викидів p' .

У результаті розв'язку оптимізаційної задачі визначається структура генеруючих потужно-

стей, до якої входить підмножина технологій на органічному паливі $K'' \subset K'$ з відповідними встановленими потужностями $\{X_{kn}^{2018}\}$, де n – стан технології: 1 – нова, 2 – модернізована з метою виконання нормативних вимог щодо викидів забруднюючих речовин, які у 2018 р. будуть задовольняти гармонізовані нормативи викидів забруднювачів у повітря.

Як показали дослідження [7], виконання гармонізованих нормативів викидів забруднюючих речовин у повітря на енергоблоках існуючих вугільних ТЕС вимагає проведення їх високовитратної реконструкції з питомими інвестиціями 700 – 1200 дол. США/кВт, що передбачає заміну котлоагрегату на новий високоефективний з технологією факельного спалювання зі встановленням сучасних високоефективних сірко- та азотоочисних установок або циркулюючого киплячого шару, встановлення нових електрофільтрів, нового турбоагрегату з подовженням строку роботи на 20–30 років. Також досягнення гармонізованих нормативів забезпечується введенням в експлуатацію нових високоефективних енергоблоків ТЕС з техніко-економічними та екологічними показниками на рівні сучасних європейських вимог.

Для проведення оптимізаційних розрахунків було розроблено чотири варіанти сценаріїв розвитку генеруючих потужностей до 2018 року, які відрізняються заходами з виконання гармонізованих нормативів викидів (табл. 1). Так, перший варіант передбачає проведення на всіх існуючих вугільних потужностях високовитратної реконструкції без будівництва нових енергоблоків, другий варіант крім реконструкції передбачає будівництво нових високоефективних енергоблоків на органічному паливі. Третій та четвертий варіанти обмежують реконструкцію вугільних енергоблоків до 4 ГВт встановленої потужності і відрізняються обсягами введення нових енергоблоків на вугіллі та газі.

Розвиток атомної енергетики передбачає добудову до 2018 року двох енергоблоків Хмельницької АЕС загальною потужністю 2 ГВт. Рівень розвитку відновлювальних джерел енергії: 1 ГВт сонячних та 3 ГВт вітрових електростанцій. Електроенергія від цих джерел згідно з діючим законодавством обов'язково викупується енергосистемою за «зеленими тарифами», тому їх витрати в задачі не оптимізуються.

Таблиця 1 – Варіанти сценаріїв розвитку генеруючих потужностей на органічному паливі

Технологія	Варіант			
	I	II	III	IV
Вугільні ТЕС існуючі	Кардинальна високовитратна реконструкція	Кардинальна високовитратна реконструкція	Обмеження реконструкції до 4 ГВт	Обмеження реконструкції до 4 ГВт
Нові вугільні потужності	Немає будівництва	Нове будівництво	Нове будівництво	Немає будівництва
Нові газові потужності	Немає будівництва	Нове будівництво	Нове будівництво	Нове будівництво

Розрахунки проводилися для існуючих на даний час рівнів цін на органічне паливо та екологічного податку за викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю. Результати проведених оптимізаційних розрахунків наведено у табл. 2.

Порівняння показників варіантів розвитку структури генеруючих потужностей показало, що проведення кардинальної реконструкції

існуючих ТЕС з доведенням питомих викидів забруднюючих речовин до європейських вимог (варіант I) має більш високу собівартість виробництва електроенергії відносно другого варіанта з будівництвом нових потужностей. При цьому перший і другий варіанти мають майже однакові обсяги викидів. Третій варіант обмеженої реконструкції існуючих вугільних потужностей до 4 ГВт вимагає будівництва

Таблиця 2 – Варіанти структури генеруючих потужностей у 2018 році за сценаріями її розвитку

Показник	Варіант			
	I	II	III	IV
Встановлена потужність енергосистеми всього, ГВт, в тому числі	55,2	54,8	53,7	53,5
ТЕС	28,4	28,0	26,9	26,8
— вугільних	23,8	23,9	9,9	4,2
з них існуючих	23,8	18,3	4,2	4,2
— газомазутних	4,6	4,1	17,0	22,5
з них існуючих	4,6	3,2	3,2	3,2
АЕС	15,8	15,8	15,8	15,8
ГЕС та ГАЕС	6,9	6,9	6,9	6,9
ВЕС та СЕС	4,0	4,0	4,0	4,0
Виробництво електроенергії, млрд кВт·год	242,3	242,3	242,3	242,3
Споживання палива всього, млн т у. п., у тому числі	33,0	32,3	29,9	27,1
— вугілля	32,2	31,9	21,1	8,9
— природного газу	0,8	0,5	8,9	18,2
Викиди SO ₂ , млн т	0,20	0,17	0,08	0,05
Викиди NO _x , млн т	0,05	0,05	0,06	0,08
Викиди пилу, млн т	0,10	0,10	0,03	0,01
Викиди CO ₂ , млн т	91,14	91,15	77,66	55,09
Капіталовкладення у розвиток ТЕС, млрд дол. США	23,5	27,0	24,8	21,2
Собівартість постачання електроенергії, дол. США/МВт год	44,4	43,2	49,8	58,0

близько 6 ГВт нових вугільних потужностей та близько 13 ГВт ПГУ. Загальносистемна собівартість постачання електроенергії відносно другого варіанта підвищується, а обсяги викидів забруднюючих речовин та ПГ, крім NO_x , скорочуються майже вдвічі. Четвертий варіант обмеженої реконструкції існуючих вугільних потужностей до 4 ГВт та орієнтації на газові технології при новому будівництві потребує впровадження близько 19 ГВт ПГУ. Цей варіант має значно більшу собівартість виробництва електроенергії, що зумовлено збільшенням обсягів використання природного газу, але менші обсяги капіталовкладень та викиди забруднюючих речовин та ПГ, крім NO_x .

Результати розрахунків показали, що рішення, які отримано під час розв'язку цієї оптимізаційної задачі, реалізувати практично неможливо. Це пов'язано із низкою обмежень:

- ресурсними обмеженнями, зумовленими впровадженням великих обсягів технічних заходів у стислий період, неможливістю закупівлі у короткі терміни необхідного обладнання або через його відсутність на ринку, або недостатні строки для введення його в експлуатацію. Так, орієнтація на вугільні технології потребує одночасної реконструкції (будівництва) 21,5 ГВт потужностей вугільних ТЕС. З урахуванням термінів впровадження таких заходів, всі роботи необхідно практично розпочати у 2012 році. При орієнтації на природний газ у паливному балансі ТЕС проведення відповідних заходів можливе у менші строки, але таке рішення потребує одночасного проведення будівництва (реконструкції) 15–20 ГВт потужностей на природному газі;
- інвестиційними обмеженнями, зумовленими потребою у значних обсягах капіталовкладень (від 3,5 до 4,5 млрд дол. США на рік), в той час як скоригованим планом заходів щодо реалізації Енергетичної стратегії України (Розпорядження КМ України від 24 лютого 2010 р. № 299 - р) на реконструкцію та нове будівництво енергоблоків ТЕС до 2020 року передбачено вкласти 40,3 млрд грн. власних та залучених коштів (близько 5 млрд дол. США);
- зростанням потреби у природному газі при орієнтації на газові технології, що суперечить стратегічному курсу на зменшення його споживання.

Отже, необхідно розглянути можливість пролонгації терміну виконання гармонізованих нормативів викидів до 2030 року. Це зумовлено значними фінансовими витратами генеруючих компаній у досить обмежений термін, покриття яких скоріш за все буде покладене на споживачів, поточними та перспективними планами енергокомпаній, що передбачають поступові процеси модернізації та реконструкції існуючих потужностей, потребою у набутті досвіду під час реалізації пілотних проектів зі встановлення газоочисного обладнання та впровадження новітніх технологій.

ВИСНОВКИ

Виконані дослідження підтвердили, що забезпечити виконання нормативних вимог щодо викидів забруднювачів у повітря до 1 січня 2018 року неможливо. Це зумовлено поточним станом вітчизняної електроенергетики, необхідністю значних фінансових ресурсів для будівництва або капітальної реконструкції великого обсягу потужностей, відсутністю практичного досвіду будівництва та експлуатації газоочисного обладнання. Україна не в змозі за такий короткий термін досягти сучасного екологічного рівня розвитку енергетики європейських країн, який було досягнуто за більш ніж 30-річний еволюційний шлях у напрямку її екологізації.

Внаслідок неможливості виконання гармонізованих нормативів викидів забруднювачів у повітря до 2018 року для України головним завданням є перегляд прийнятих зобов'язань на основі формування Національного плану зниження викидів та погодження такого рішення з партнерами по Енергетичному співтовариству. Такий план повинен передбачати поступове приведення показників ТЕС країни до відповідних нормативів з використанням принципу колегіальної відповідальності, згідно з яким для України буде визначено динаміку скорочення питомих викидів для різних ТЕС, забезпечення якої можливо за рахунок поступового виведення застарілих енергоблоків з експлуатації, продовження експлуатації новіших енергоблоків за умови їх кардинальної реконструкції із встановленням ефективного газоочисного обладнання та будівництва нових генеруючих потужностей, що відповідають вимогам ЄС.

1. *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 plant // Official Journal of the European Communities. – 2001. – L 309 – P. 1–21.
2. Трофименко Ю. Підходи до оснащення ТЕС НАК «Енергетична компанія України» газоочисним обладнанням у контексті виконання Директиви 2001/80/ЄС. Презентація на Третньому українському бізнес-саміті з проблем зміни клімату. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://esbs.kiev.ua/uk/novini/tretyi-ukrainskiy-biznes-samit-z-problem-zmini-klimatu>.
3. Вольчин І. Приєднання України до Угоди про Енергетичне співтовариство. Екологічні аспекти: Матеріали круглого столу «Приєднання України до Угоди про Енергетичне співтовариство». – Київ, 19.05.2011. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ua-energy.org/upload/files/Volchyn_KrStil2011_1.pdf.
4. Гусар М.Г. Аналіз основних можливих заходів щодо зниження викидів оксидів сірки – концепція вирішення проблеми / М.Г. Гусар, Я.Д. Демчук, С.В. Гірченко // Енергетика та електрифікація. – 2009. – № 9. – С. 57-61.
5. Вплив на стан та розвиток електроенергетики, впровадження «зеленого тарифу» та нової моделі ринку електроенергії в Україні / Б.А. Костюковський, Т.П. Нечаєва, С.В. Шульженко та ін. // Проблеми загальної енергетики. – 2010. – Вип. 3 (23). – С. 13–18.
6. Шульженко С.В. Показники ефективності функціонування та розвитку електричних станцій в умовах ринку / С.В. Шульженко // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – № 20. – С. 7–13.
7. Костюковський Б.А. Напрямки забезпечення екологічних вимог по викидах забруднювачів в повітря в тепловій енергетиці України / Б.А. Костюковський, Т.П. Нечаєва, С.В. Шульженко // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – № 20. – С. 63–68.

Надійшла до редакції 29.06.2012