

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

УДК 621.311:006.07

І.С. СОКОЛОВСЬКА, канд. техн. наук,
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172,
м. Київ, 03680, Україна

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ УРАХУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ МІЖНАРОДНИХ ВИМОГ ДО ВИКИДІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ПІД ЧАС МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕС УКРАЇНИ

Розглянуто шляхи сприяння вирішенню проблеми зниження викидів небезпечних речовин, зокрема ртуті, під час стаціонарного спалювання палива в різних країнах світу на законодавчому рівні. У зв'язку з імовірним введенням міжнародних вимог до викидів ртуті у найближчій перспективі вказано на необхідність урахування вартості засобів для зниження викидів ртуті під час вибору технологій спалювання палива та марок палива під час модернізації існуючих енергоблоків ТЕС України та прийняття рішення про будівництво нових.

К л ю ч о в і с л о в а: викиди ртуті, вміст ртуті, вплив на довкілля, електростанція, норми, директиви.

Сьогодні в енергетиці України актуальною проблемою залишається необхідність виконання до 2018 р. вимог Директиви 2001/80/ЄС про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин, яка, зокрема, поширюється на електростанції та котельні і визначає норми викидів твердих частинок, оксидів сірки та азоту. Це можливо за умови докорінної модернізації існуючого обладнання ТЕС та встановлення сучасних систем очищення димових газів, що потребує значних коштів. Оновлене обладнання має функціонувати тривалий час, тож необхідно передбачити появу нових, більш жорстких вимог до нього, задоволення яких може виявитись ускладненим, неможливим або економічно не вигідним. У зв'язку з цим

© І.С. СОКОЛОВСЬКА, 2015

вже нині у процесі підготування до реконструкції енергетичного устаткування та вибору технологій очищення необхідно враховувати можливі зміни вимог до екологічних показників ТЕС.

У вітчизняній літературі, присвяченій проблемам екологізації ТЕС згідно з вимогами ЄС, практично не порушено питання щодо майбутніх номенклатури і норм викидів емітентів. Разом з тим, у багатьох країнах світу вже не тільки плануються, а й вводяться такі норми, зокрема стосовно ртуті як одної з небезпечних речовин, накопичення якої в людському організмі призводить до хвороби Мінамата, що завершується летально.

В ЄС ртуть належить до переліку пріоритетних речовин, встановлених Директивою ЄС 2000/106/ЄС (ВДР, додаток X) та до переліку

небезпечних речовин, встановлених Директивою ЄС 2008/105/ЄС (додаток I). В Україні ртуть та її сполуки в перерахунку на ртуть відносять до першого класу небезпеки (надзвичайно небезпечні) [1].

Найбільшим джерелом антропогенної емісії ртуті в атмосферу планети є спалювання вугілля [2]. За різними даними електростанції та промислові котлоагрегати здійснюють від 25% [3] до 50% [4] викидів ртуті у повітря.

Вміст ртуті у вугіллі залежить від вугільного басейну, а також від шахт в межах кожного басейну. Наприклад, для бітумінозного вугілля США це 0,01–3,3 мг/кг, Росії – 0,02–0,84 мг/кг, України – 0,02–0,19 мг/кг, ПАР – 0,01–1,0 мг/кг [5]. За даними [6] у вугіллі з фоновим вмістом ртуті домінують дві форми: ртуть, пов'язана з золюю (піритом FeS_2 – $\text{Hg}_{\text{пір}}$), і ртуть, пов'язана з органічною речовиною ($\text{Hg}_{\text{орг}}$). Зазвичай, високозольне вугілля в 6–7 разів багатше ртуттю, ніж низькозольне. У вугіллі з аномально високим вмістом ртуті зустрічаються також металева ртуть і кіновар (HgS). Під час попередньої підготовки і збагачення вугілля вміст ртуті в ньому, зазвичай, помітно знижується, оскільки пірит (основний концентратор ртуті) переходить переважно у відходи вуглезбагачення [2]. Концентрації ртуті в збагаченому вугіллі нижчі, ніж в рядовому, що слід враховувати під час оцінювання емісії ртуті.

Вугілля з аномально високим вмістом ртуті є в Росії, Україні, Німеччині, Китаї, США та деяких інших країнах [7]. Особливу увагу треба приділити Донецькому ртутному феномену, де розподіл Hg є полімодальним, тобто поряд з фоновим вмістом Hg у вугіллі існують аномальні і різко аномальні. Найбільш збагачене ртуттю вугілля Центральної (Центрально-Донецький розлом) та Північної зон [8]. Фоновий вміст Hg в антрацитах Центральної зони становить 0,06–0,07 г/т, тоді як геохімічний фон Hg в антрациті Східного Донбасу – 0,025 г/т, Західного Донбасу – 0,008 г/т, Південного Донбасу – 0,004 г/т. Фоновий вміст Hg в антрацитах Північної зони досягає 0,09 г/т. Аномальний вміст Hg відповідає «розсіяній мінералізації», зазвичай це 0,10–0,50 г/т. Різко аномальний вміст Hg відповідає «збагаченій мінералізації», перевищує 1 г/т, і, наприклад, в Східному Донбасі становить в середньому 2,6 г/т. Згідно з [3], в Центральному Донбасі

ці значення можуть бути ще вище. На сьогодні широке розсіювання Hg в атмосфері, ґрунтах і водах внаслідок видобування та спалювання ртутоносного вугілля призвело в Україні до серйозних екологічних проблем [8].

Розподіл ртуті залежить від таких властивостей вугілля, як вміст золи і сірки. Чим вище вміст сірки у вугіллі, тим вище в ньому вміст ртуті, оскільки зазвичай пірит є не тільки головним концентратором, а й головним носієм ртуті, тобто піритова ртуть дає найбільший внесок у валовий вміст ртуті [7].

Емісія ртуті під час спалювання вугілля в топках ТЕС визначається як складом вихідного вугілля, так і особливостями режиму спалювання. Вважається, що за високих температур спалювання ртуть з вугілля практично вся переходить в газоподібний стан і викидається в атмосферу з газами, або концентрується на частинках, які вловлюються спеціальними очисними установками [2]. Ефективність уловлення ртуті існуючими системами зниження забруднення повітря залежить від видоутворення ртуті [9].

З вугільних електростанцій загалом виділяються такі форми ртуті: елементарна (Hg^0), окислена (Hg^{+2}), конденсована на частинках золи (Hg_p) [10]. У повітря з димовими газами викидається елементарна ($\approx 40\%$) та окислена ($\approx 60\%$) ртуть. Окислена ртуть є водорозчинною і, потрапляючи в природне середовище, може пройти через ряд хімічних перетворень і перетворитися у високотоксичну форму, метилртуть, $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$, яка накопичується у рибах, птахів та людей, але практично не надходить з ґрунту до рослин. Концентрацію ртуті у побічних продуктах спалювання вугілля наведено у табл. 1.

Як видно з табл. 1, летюча зола містить більше половини всієї ртуті, яка є у побічних продуктах вугільних електростанцій.

Ртуть є не тільки у вугіллі, а й у інших видах палива. На жаль, немає даних щодо вмісту ртуті у паливі, яке використовується на електростанціях та в котельнях України, тому доцільно розглянути результати досліджень, проведених в інших країнах.

Вміст ртуті в сирій нафті, з якої отримують мазут, та природному газі має істотні межі коливань (табл. 2), що зумовлено геологічними причинами, зокрема, виявлено збільшення вмісту ртуті з глибиною в газових і газонафтових родовищах як в межах провінції, так і на

Таблиця 1 – Концентрація ртуті у побічних продуктах спалювання вугілля [10]

Побічний продукт спалювання вугілля	Частинок на мільйон Ppm
Летюча зола	0,330
Донна зола	0,067
Шлак	0,042
Шлам після мокрої десульфуризації	0,200

Таблиця 2 – Вміст ртуті в нафтових і газових родовищах світу [2]

Компонент	Концентрація ртуті
Нафта	0,003 – 21 мг/кг
Конденсат	<0,037 – 1,1 мг/кг
Газ	$0,01 \cdot 10^{-6}$ – $14000 \cdot 10^{-6}$ г/м ³

окремих родовищах [11–13], а також довготривалу мінливість вмісту ртуті в природних газах, зокрема, концентрація ртуті в різні роки може відрізнятися в одних і тих самих свердловинах в 15–20 разів [2].

В газових родовищах Росії вміст ртуті коливається від менш ніж 0,1 до 70 мкг/м³, а в конденсаті – від менш ніж 65 до 623 мкг/кг [15,14]. У той самий час вміст ртуті в газі магістральних газопроводів виключно низький порівняно з вмістом ртуті в сирому газі, оскільки газ, проходячи по трубопроводу, втрачає ртуть (ймовірно, через амальгамування стінок газопроводу), наприклад, для газопроводу «Уренгой – Ужгород» це значення приблизно $0,05 \cdot 10^{-6}$ г/м³ [2].

За даними [14] вміст ртуті в нафті Росії, що переходить у мазутне паливо для ТЕС, становить від 0,008 до 0,360 мг/кг, в Україні – до 1,150 мг/кг. За даними [2] вміст ртуті в російському мазуті в середньому 0,05 мг/кг.

Що стосується паливної деревини, то типовим коефіцієнтом викидів ртуті під час спалювання деревинних відходів в котельнях США прийнято 0,026 мг/кг, концентрація ртуті в паливній деревині Швеції 0,01–0,02 мг/кг сухої ваги, в Данії – 0,007–0,03 мг/кг сухої ваги [2].

Вміст ртуті в торфі в середньому становить 0,2 мг/кг, діапазон у світі від 0,06 до 0,3 мг/кг, в Росії 0,01–0,3 мг/кг [2].

Отже, враховуючи усе наведене вище, можна зробити висновок про те, що зниження викидів ртуті під час спалювання різних видів палива для вироблення електричної та теплової

енергії є важливим нагальним завданням, і запровадження відповідних нормативно-правових заходів має створити законодавчу основу для його виконання.

На національному рівні на сьогодні в декількох країнах запроваджені стандарти щодо викидів ртуті вугільними електростанціями – це США і Канада, де впроваджуються спеціальні технології зниження викидів ртуті і ефективність зниження цих викидів досягла більше 90%, а також Німеччина і Китай [15]. Хоча інші країни можуть не мати спеціального законодавства щодо ртуті, у багатьох є законодавство, яке призводить до значного скорочення викидів ртуті як супутнього ефекту внаслідок установлення ефективних технологій очищення димових газів.

Агентство з охорони навколишнього середовища (EPA) США запропонувало стандарти на забруднюючі повітря токсичні речовини і ртуть (MATS), прийняті в 2013 р., які поширюються на усі електростанції, що працюють на вугіллі та мазуті, потужністю 25 МВт і більше, і вимагають, щоб на електростанціях використовували доступні технології для істотного зниження шкідливих викидів. Стандарти MATS називаються «національними нормами викидів для небезпечних забруднювачів повітря» (NESHAP), а також відомі як стандарти максимально досяжних технологій зниження викидів (MACT) [4].

Впровадження стандартів МАСТ здійснюється у два етапи:

1. Мінімальний рівень МАСТ встановлюється, базуючись на тому, що в даний час досягнуто джерелами викидів. Вартість не може бути розглянуто.

2. ЕРА може регулювати мінімальний рівень там, де це обґрунтовано. Вартість та інші питання мають бути розглянуті.

Для наявного обладнання відповідність стандартам МАСТ має бути досягнута протягом чотирьох років: три роки, які надаються усім джерелам шкідливих викидів відповідно до Закону США про чисте повітря, та, за необхідності, один рік додатково для встановлення технологій зниження шкідливих викидів. Крім того, може бути розглянуто конкретні обставини в кожному конкретному випадку для визначення відповідних рішень [4]. Прикладом є вугільна електростанція Турк потужністю 600 МВт, яка оснащена системою зниження викидів для обмеження кількості ртуті, що виділяється в повітря, і є однією з найчистіших та найефективніших електростанцій США [16].

Комунальні підприємства США планують досягти відповідності стандартам MATS до 2015 р. [16]. Всі підходи до зниження викидів ртуті починаються з розгляду палива, оскільки викиди ртуті залежать від її вмісту у паливі, що впливає на вибір технології її уловлювання.

Кількість ртуті, що виділяється, залежить від утворення її форм під час горіння і реакцій в наступних процесах. Уловлювання ртуті також залежить від застосованих технологій зниження викидів. З метою оптимізації витрат, перш ніж складати специфікацію додаткового обладнання, відносно ефективності існуючого станційного обладнання з очищення повітря має бути оцінено щодо його модернізації для додаткової вигоди з уловлювання ртуті. У разі зниження викидів багатьох забруднювачів одна технологія може вплинути на конкретний забруднювач, який в основному контролюється іншим процесом. Речовини, додані для поліпшення одного режиму контролю, можуть призвести до незапланованих згубних наслідків в іншій частині системи в цілому.

Граничні викиди ртуті для нових енергоблоків (будівництво яких почалось після 3 травня 2011 р.), як правило, на порядок нижче, ніж для існуючих (табл. 3). До 2015 р. викиди ртуті на усіх наявних електростанціях мають бути якомога менше, як сьогодні на найкращих 12%, знижуючи загальні потенційні викиди на 90%.

У Німеччині Федеральний Закон з боротьби зі забрудненням повітря визначає граничні значення викидів ртуті у 30 мкг/м³ для всіх вугільних електростанцій потужністю понад

Таблиця 3 – Граничні викиди ртуті для існуючих і нових вугільних котлів у США [15]

Граничні викиди ртуті для існуючих установок (кількість ртуті, що виділяється, на ГВт-год енергії на виході з установки)	
Вугільний енергоблок (будь-яке вугілля, крім бурого)	5 г/ГВт-год
Вугільний енергоблок (буре вугілля)	17 г/ГВт-год
Енергоблок комбінованого циклу з внутрішньою газифікацією вугілля	13 г/ГВт-год
Мазутний енергоблок	0,8 г/ГВт-год
Граничні викиди ртуті для нових установок (кількість ртуті, що виділяється, на ГВт-год енергії на виході з установки)	
Вугільний енергоблок (будь-яке вугілля, крім бурого)	0,08 г/ГВт-год
Вугільний енергоблок (буре вугілля)	17 г/ГВт-год
Енергоблок комбінованого циклу з внутрішньою газифікацією вугілля	1,3 г/ГВт-год
Мазутний енергоблок	0,8 г/ГВт-год

Таблиця 4 – Вимоги щодо викидів ртуті для нових енергоблоків у Канаді [15]

Тип вугілля	Норма уловлювання, %	Викиди, кг/ТВт·год
Бітумінозне (кам'яне)	85	3
Суббітумінозне	75	8
Лігніт (буре)	75	15
Суміші	85	3

50 МВт_{тепл} [15]. Необхідним є також постійний моніторинг викидів ртуті. Оскільки всі електростанції мають оснащення для уловлювання інших викидів, ртуть також ефективно уловлюється і, поки що, не було необхідності застосування спеціальних технологій зниження викидів ртуті на будь-яких електростанціях, які працюють тільки на вугіллі. На близько 20 електростанціях, де спалюються шлами стічних вод сумісно з вугіллям, є серйозні проблеми щодо викидів ртуті та їх зниження. Є припущення, що принаймні одна вугільна електростанція в Німеччині може забезпечити викиди ртуті на рівні 3 мкг/м³.

У Нідерландах, подібно до Німеччини, прийнято активний підхід до зниження викидів і часто впроваджується законодавство, яке значно жорсткіше, ніж встановлене на рівні ЄС [15]. У КЕМА створено КЕМА TRACE MODEL (КТМ), емпіричну і статистичну модель, розроблену на базі досліджень балансу мас на всіх вугільних електростанціях в Нідерландах протягом 25 років. Модель може розраховувати сумісне спалювання вторинних видів палива, таких як біомаса, до 30% від базової маси. Модель охоплює 46 елементів, включаючи ртуть. Розрахункові викиди, засновані на даних щодо палива, порівнюються з відповідними нормами викидів згідно з Директивами ЄС, таких як 2001/80/ЄС або 2010/75/ЄС, і будь-яких національних вимог. КТМ часто використовують на вугільних електростанціях Нідерландів для визначення їх впливу на довкілля та для отримання відповідних дозволів. Припускають, що принаймні одна вугільна електростанція в Нідерландах може обмежити викиди ртуті до рівня нижче 2,4 мкг/м³ щорічно і 4,8 мкг/м³ щоденно.

В Китаї планується знизити викиди ртуті до 5 мкг/м³ до 2015 р. і до 3 мкг/м³ до 2020 р., а в Кореї з 2010 р. встановлено граничні викиди

ртуті у 100 мкг/м³ для всіх вугільних електростанцій.

В Канаді для існуючих енергоблоків заплановано поетапне зниження граничних викидів ртуті протягом 2010–2020 рр.: 100 кг/рік у 2011 та 2012 рр.; 85 кг/рік у 2013 р.; 65 кг/рік з 2014 р. по 2019 р. та 35 кг/рік у 2020 р. Вимоги для нових енергоблоків наведено в табл. 4.

На міжнародному рівні основним законодавчим документом стосовно ртуті є Мінаматська конвенція про ртуть, по суті стратегія щодо зниження викидів ртуті у світі, в якому «викиди» означають викиди ртуті чи ртутних сполук в атмосферу [17]. Конвенція охоплює всі виробничі процеси та технології, пов'язані зі ртуттю, зберігання та перероблення відходів, фінансові та медико-санітарні аспекти, а також основні правила взаємовідносин з цих питань на регіональному та міждержавному рівнях. В Конвенції, зокрема, визначено вугільні електростанції та вугільні промислові котлоагрегати як точкові джерела викидів в атмосферу ртуті та ртутних сполук.

В Європейському Союзі концентрація ртуті в повітрі частково регламентується Четвертою Дочірньою Директивою ЄС (4-а DD) (Директива 2004/107/ЄС). Ця Директива доповнює список Директив щодо концентрації шкідливих речовин у повітрі, спираючись на (стару) Рамкову Директиву 96/62/ЄС. 4-а DD встановлює граничні значення для миш'яку, кадмію, нікелю, поліциклічних ароматичних вуглеводнів, але не для ртуті. Для ртуті визначено тільки вимоги моніторингу [18].

Встановлення граничного значення для ртуті було частиною обговорення в рамках 4-ї DD. Деякі противники цієї ідеї стверджують, що це було б більш адекватним для зниження загальних рівнів викидів, а не встановлення лімітів концентрації для атмосферного повітря. Майбутній перегляд Директиви 2001/81/ЄС

щодо державних граничних норм для певних забруднювачів атмосфери надасть можливість в країнах ЄС реально знизити загальні викиди ртуті в атмосферу.

В Директиві 2001/80/ЄС щодо обмеження викидів деяких забрудників у повітря великими спалювальними підприємствами зазначено, що Протокол щодо важких металів до Конвенції ЄЕК ООН про транскордонне забруднення повітря на великі відстані (995_223) рекомендує вжити заходів щодо зниження викидів важких металів деякими установками. Відомо, що вигоди від зниження викидів завдяки застосуванню пилозбірників призведуть до вигод від зниження викидів важких металів, пов'язаних з твердими забруднювачами.

Основним документом ЄС у сфері безпеки промислової діяльності стосовно довкілля з 7 січня 2014 р. стала Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди (про комплексне попередження забруднення та контроль над ним), яка прийнята на заміну ряду директив, зокрема, Директив 78/176/ЄЕС, 82/883/ЄЕС, 92/112/ЄЕС, 1999/13/ЄС, 2000/76/ЄС, 2008/1/ЄС та з 1 січня 2016 р. Директиви 2001/80/ЄС, і містить їх основні положення щодо попередження та контролю за забрудненням повітря, води й землі, діяльності великих спалювальних установок (у т.ч. електростанцій) тощо. Положення 2010/75/ЄС, зокрема, зосереджуються на дозвільній системі та процедурах [19]. Хоча в цій директиві визначено не загальноєвропейські граничні значення щодо викидів ртуті вугільними електростанціями, а тільки вимоги щорічного моніторингу, подальше зниження цих викидів буде досягнуто як побічний ефект від застосування систем контролю за викидами, які встановлюються для зниження викидів твердих частинок, SO₂ та NO_x до рівнів, прийнятих у ЄС [15].

Згідно з 2010/75/ЄС для установок, що спалюють вугілля або лігніт, викиди загальної ртуті вимірюють принаймні один раз на рік. Граничні значення викидів для забруднюючих речовин застосовують в місці виділення викидів з установки. Для ртуті та її сполук, виражених як ртуть (Hg), середній граничний обсяг викидів у повітря за період відбору проб мінімум 30 хвилин та максимум 8 годин – 0,05 мг/нм³, для скидань відпрацьованої води з очищення відхідних газів для невідфільтрованих проб – 0,03 мг/л [19].

На даний час питання конкретного законодавства щодо ртуті в ЄС є предметом дискусій [15]. Зокрема, Weem (2011) представив неофіційний документ для Робочої групи зі стратегій та огляду (PGCO) ЄЕК ООН, в якому пропонується ввести в ЄС суворіші обмеження щодо ртуті і стверджує, що обмеження у 30 мкг/м³, встановлені в таких країнах, як Німеччина і Китай, можуть бути виконані на установках з мінімальними або ніякими заходами боротьби з викидами на місці і що установки з оснащенням, яке відповідає вимогам вказаної вище 2010/75/ЄС, можуть легко задовольнити більш жорсткі обмеження в 3 мкг/м³. Ті установки, які не досягають цієї межі, потребують додаткових інвестицій, що призведе до «малого» збільшення цін на електроенергію (близько 0,001 Євро/кВт·год, що менше 1 Євро/рік на сім'ю).

Для зниження викидів ртуті застосовуються різні технології, витрати на впровадження яких значно залежать від конкретних об'єктів.

Загалом процес видалення ртуті можна представити поетапно [10]:

- 1) мокре вуглезбагачення видаляє з вугілля від 25 до 35% ртуті;
- 2) виділення ртуті під час спалювання вугілля у котлі з летючою та донною золою;
- 3) уловлювання від 10 до 90% ртуті (залежно від типу вугілля і засобів, що використовуються) наявними технологіями зменшення викидів NO_x, SO₂ та пилу;
- 4) уловлювання ртуті, що залишається (близько 15% окисленої та 22% елементарної), майбутніми технологіями уловлювання ртуті.

Більша частина наявних систем очищення викидів не є ефективними з точки зору уловлювання ртуті через її високу летючість. Проведені в США масштабні дослідження [2] різних систем очищення викидів, що використовуються для уловлювання ртуті, на великій кількості котелень, які працюють на вугіллі (середні показники ступеня очищення викидів від ртуті були від 0 до 96%) показали, що:

- застосування певної технології або комбінації технологій для різних видів вугілля зможе забезпечити різну ефективність щодо зниження вмісту ртуті;
- ефективність зниження викидів ртуті значно залежить від типу вугілля, що використовується, причому середній відсоток уловлювання ртуті збільшувався разом з підвищенням

Таблиця 5 – Приблизні витрати на зниження викидів ртуті та ефективність їх видалення у разі спалювання вугілля (Расуна et al 2010) [3]

Технологія зниження викидів	Оцінка величини скорочення викидів ртуті (%)	Річні витрати ^b (дол. США 2008/МВт·год(е))		
		Інвестиційні витрати	Витрати на експлуатацію і технічне обслуговування	Всього витрат ^a
Сухий електростатичний пилоловлювач (ЕСП)	> 63	0,5	0,9	1,4
Тканинний фільтр (ТФ)	> 93	0,5	1,5	1,9
ТФ +мокрый або сухий скруббер + вприскування сорбенту	> 98	2,7	3,0	5,7
Сухий ЕСП + мокрый або сухий скруббер + вприскування сорбенту	> 98	2,7	2,4	5,1

^a У разі застосування нових технологій, таких як електрокаталітичне окислення або комбінований цикл комплексної газифікації, експлуатаційні витрати можуть становити приблизно 20 дол. США / МВт·год.
^b Точність оцінок витрат в таблиці ± 50 %.

ступеня метаморфізму твердого палива, яке використовується, починаючи від бурого вугілля до суббітумінозного й бітумінозного вугілля. Для різних видів вугілля був забезпечений певний діапазон видалення ртуті.

В зазначеному дослідженні аналізувався середній показник уловлення ртуті після котлів з використанням для пилоочистки електростатичних та рукавних фільтрів, а також мокрих скрубберів.

За даними Програми ООН щодо навколишнього середовища [20], максимальний показник уловлювання ртуті під час спалювання кам'яного вугілля становить до 98% у разі уловлювання твердих частинок й використання розпилювального абсорбера або системи мокрої десульфуризації димових газів; під час спалювання суббітумінозного вугілля – до 72% у разі уловлювання тільки твердих частинок.

На великих російських електростанціях, подібних українським, за попередньою оцінкою [2], початковий показник уловлювання ртуті системами для очищення топкового газу, включаючи циклони (ККД з видалення золи 75–80%) та скрубери (ККД 99%), становить 21%.

Орієнтовні витрати на впровадження технологій зниження викидів ртуті наведено в табл. 5.

Первинне зниження викидів полягає в

зменшенні кількості ртуті в паливі, наприклад, вибір вугілля з низьким природним вмістом ртуті, попереднє оброблення вугілля або заміна палива (наприклад, заміна вугілля природним газом або поновлюваними джерелами енергії). Іншим загальним підходом до зменшення викидів ртуті є підвищення експлуатаційної ефективності та зменшення споживання палива і, відповідно, зменшення викидів ртуті та інших забруднювачів. У рамках виконання Програми ООН щодо навколишнього середовища вже розроблено пакет програм iPOG™ для розрахунку кількості викидів ртуті під час спалювання різних видів палива та їх сумішей [21]. Після етапу спалювання можливе застосування різних технічних заходів зниження забруднення повітря й спеціальних заходів зниження викидів ртуті.

ВИСНОВКИ

1. Проблема зниження викидів небезпечних речовин, зокрема ртуті, під час стаціонарного спалювання палива наразі є актуальною, її вирішенню сприяє впровадження відповідних законодавчих актів у різних країнах світу. У найближчій перспективі норми викидів ртуті можуть бути запроваджені на міжнародному та регіональному рівнях.

2. Зважаючи на суттєву небезпеку, яку становлять викиди ртуті у довкілля від електро-

станцій, зокрема з огляду на аномально високий вміст ртуті у донецькому вугіллі, який є основним паливом на вітчизняних електростанціях, доцільно враховувати необхідність зниження викидів ртуті з огляду на майбутні вимоги Директив ЄС, оскільки це може вплинути на визначення шляхів модернізації ТЕС і котельних.

1. *Наказ* Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27.06.2006 № 309 «Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06>.
2. *АСАР, 2005*. Оценка поступления ртути в окружающую среду с территории Российской Федерации. План действий Совета Арктики по предотвращению загрязнения Арктики (АСАР/ПДСА), Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору в сотрудничестве с Датским Агентством по охране окружающей среды. ДАООС, Копенгаген. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://asap.arcticcouncil.org/projects.cfm>.
3. *Исследование источников и выбросов ртути и анализ расходов на меры по обеспечению контроля и их эффективности “Исследование в соответствии с пунктом 29 решения ЮНЕП”*. Сектор по химическим веществам Отдела технологий, промышленности и экономики (ОТПЭ). Женева, Швейцария. 11 Ноября 2010. UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/INC2/INC2_4_r.pdf.
4. *Mercury and Air Toxics Standards (MATS)*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.epa.gov/airquality/powerplanttoxics/>.
5. *UNEP, Pilot Draft, 2005*. Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases, Issued by UNEP Chemicals, Geneva, Switzerland. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Toolkit/UNEP-final-pilot-draft-toolkit-Dec05.pdf>.

6. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В.* Элементы-примеси в ископаемых углях. – Л.: Наука, 1985. – 239 с.
7. *Юдович Я. Э., Кетрис М. П.* Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 655 с.
8. *Юдович Я. Э., Кетрис М. П.* Ртуть в углях – серьезная экологическая проблема // Биосфера. – 2010. – Т. 2. № 1. 19 Январь 2010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.biosphere21century.ru/articles/183>.
9. *Reduction of mercury emissions from coal fired power plants.*: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.unep.org/fileadmin/DAM/env/documents/2011/eb/wg5/WGSR48/ Informal%20docs](http://www.unep.org/fileadmin/DAM/env/documents/2011/eb/wg5/WGSR48/Informal%20docs)
10. *Brian H. Bowen, Marty W. Irwin*. Basic Mercury Data & Coal Fired Power Plants. CCTR Basic Facts File #2. - Indiana Center for Coal Technology Research. March, 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.purdue.edu/dp/energy/CCTR/>
11. *Озерова Н.А.* Ртутоносность газовых и газонефтяных месторождений // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. К созданию общей теории нефтегазоносности недр. Материалы шестой международной конференции. Кн. 2. – М.: ГЕОС, 2002.
12. *Озерова Н.А., Добрянский Л.А.* Опыт прогнозирования ртутоносности газовых месторождений (на примере газоконденсатного месторождения Опошня, ДДВ) // Геохімічні методи пошуків – стан і перспективи розвитку. – Киев, 2000.
13. *Озерова Н.А., Машьянов Н.Р.* Новое в ртутометрии // Геохимические методы и научно-технический прогресс в геологическом изучении недр. – М.: Наука, 1989.
14. *Выбросы ртути в нефтегазовой отрасли: Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде.* Межправительственный комитет для ведения переговоров по подготовке имеющего обязательную юридическую силу глобального документа по ртути. Третья сессия. Подготовка имеющего обязательную юридическую силу глобального документа по ртути. Найроби, 31 октября – 4 ноября 2011 года. – UNEP(DTIE)/Hg/INC.3/5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.unep.org/chemicalsandwaste/.../9/.../3_5_r_oil%20and%20gas.doc.

15. *Sloss L.* Legislation, standards and methods for mercury emissions control / CCC/195, ISBN 978-92-9029-515-0. – IEA Clean Coal Centre. – April, 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iea-coal.org.uk/documents/82897/8418/Legislation,-standards-and-methods-for-mercury-emission-control,-CCC/195>.
16. *Sankey Mark R., Koza D.* Challenges to Mercury Emissions Compliance at New and Existing Coal Fired Power Plants [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.power-eng.com/articles/print/volume-117/issue-8/features/challenges-to-mercury-emissions-compliance-at-new-and-existing-coal-fired-power-plants.html>.
17. *Minamata Convention on Mercury.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mercuryconvention.org/Convention/tabid/3426/Default.aspx>.
18. *Opportunities to reduce mercury emissions through the Thematic Strategy on Air Pollution (TSAP) review and the revision of the National Emission Ceilings (NEC) Directive .* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eeb.org/?LinkServID=AD428325-5056-B741-DBD38576E1DD11C9&showMeta=0&aa>.
19. *Норми викидів зі стаціонарних джерел.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.zhiva-planeta.org.ua/upload/normi-vikidiv-zi-statsionarnih-dzherel.pdf>

Limit values of emissions from stationary sources. – <http://www.zhiva-planeta.org.ua/upload/normi-vikidiv-zi-statsionarnih-dzherel.pdf>.

20. *Process Optimization Guidance (POG) for Reducing Mercury Emissions from Coal Combustion in Power plants, 2010 (Russian version).* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/tabid/3609/Default.aspx>.

21. *iPOG™.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/coal/iPOG_flyer.pdf.

Надійшла до редколегії 15.11.2014