3. Мельник Л. Еколого-економічне обгрунтування господарських рішень з урахуванням екстернальних ефектів / Л. Мельник, І. Дегтярьова // Економіка України : політико-економічний журнал. – 2011. – № 5. – С. 75-83.

4. Онищенко А.М. Моделювання технологічних інновацій в еколого-економічній системі / А.М. Онищенко // Економіка та держава : наук.-практ. журнал. – 2011. – № 3. – С. 30-31.

5. Онищенко А.М. Двосекторна еколого-економічна модель оптимального розвитку / А.М. Онищенко // Економіка та держава : наук.-практ. журнал. – 2011. – № 5. – С. 24-28.

6. Синякевич І. Стратегія подолання глобальних екологічних загроз / І. Синякевич // Економіка України : політико-економічний журнал. – 2010. – № 12. – С. 69-77.

Сибирный А.В., Хомив О.В., Сибирная Р.И. **Мониторинг окружающей среды в контексте предупреждения угроз экономическому развитию государства**

Сформулированы основные задачи системы мониторинга окружающей среды в контексте проблем экономического развития. Установлено, что его основными направлениями должно быть изучение изменений, обусловленных деятельностью промышленных предприятий, эффектов, связанных с распространением загрязняющих веществ и антропогенных влияний.

Ключевые слова: мониторинг окружающей среды, экология, экономическое развитие, угрозы.

Sybirnyy A.V., Khomiv O.V., Sybirna R.I. **Monitoring the environment in the context of economic development threats warnings**

The basic task of monitoring the environment in the context of economic development. Found that its main lines should be studying changes caused by industrial activities, effects associated with the spread of pollutants and anthropogenic influences.

Keywords: environmental monitoring, environment, economic development, a threat.

УДК 658.567.1:628.474 Мол. наук. співроб. С.Я. Хруник[1]; доц. О.Т. Мазурак[2], канд. техн. наук; ст. викл. Н.В. Качмар[2], канд. с.-г. наук

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕРМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

Досліджено емісію високотоксичних таких хлорорганічних сполук як діоксини і фурани у повітря під час термічної утилізації відходів, зокрема у процесі виробництва цементу. Представлено джерела, умови утворення діоксиноподібних речовин та механізми потенційних способів зниження їх викидів.

Ключові слова: термічна утилізація, горючі відходи, викиди, токсичність, діоксини, фурани, адсорбція.

Щорічно в природне середовище потрапляє велика кількість високотоксичних хлорорганічних сполук типу діоксинів і фуранів (ПХДД і ПХДФ) із джерел антропогенного характеру, які можна розділити на три категорії: стаціонарні (термічні процеси, хімічна промисловість), дифузні (спалювання палива, пожежі) і вторинні джерела (компост, осади стічних вод). Хімічні процеси належать до стаціонарних джерел викидів ПХДД/ПХДФ. Спалювання палива з метою отримання тепла та енергії (топки, печі, котлоагрегати і сміттєспалювальні заводи із застарілим очисним обладнанням), а також ци-

[1] НУ "Львівська політехніка";
[2] Львівський Національний аграрний університет

гарковий дим є дифузними джерелами цих токсинів. Найчастіше ПХДД і ПХДФ є небажаними побічними продуктами згорання хлорорганічних матеріалів у процесах неконтрольованого спалювання побутових, медичних або небезпечних відходів. Прикладами таких процесів є горіння побутових та інших відходів у природних умовах, в бочках чи контейнерах; відходів на звалищах; пожежі в будівлях, займання транспортних засобів; лісові, лугово-пасовищні пожежі та спалювання сільськогосподарських відходів на полях. Більшість дослідників вважають, що основний механізм утворення ПХДД/ПХДФ у процесі спалювання пов'язаний із заміною радикалів, циклізацією і ароматизацією молекул до температури 600°С, конденсацією прекурсорів ПХДД/ПХДФ і з вільно-радикальними реакціями, що відбуваються на поверхні золи-винесення (*de novo synthesis*) за температури понад 300 °С **[**1, 2**]**.

Одним з недоліків спалювання відходів є потенційне утворення викидів діоксинів і фуранів (ПХДД і ПХДФ), як побічних продуктів реакцій піролізу, газифікації та спалювання сполук, присутніх у відходах. Наявність у складі відходів карбону, хлору, гідрогену та оксигену створює потенційні умови для утворення діоксинів і фуранів. На появу діоксинів і фуранів під час спалювання відходів впливають їх певні термодинамічні і фізико-хімічні властивості. Приклад стехіометричного спалювання горючих відходів наведено в рівнянні (1):

$$\begin{aligned} &C_aH_bO_cN_dS_eCl_f + \left[a + e + \left(\frac{b-2c-f}{4}\right)\right](O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow \\ &\rightarrow aCO_2 + fHCl + \left(\frac{b-f}{2}\right)H_2O + eSO_2 + \left(\frac{d}{2} + 3{,}76\left[a + e + \left(\frac{b-2c-f}{4}\right)\right]\right)N_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Викиди забруднювальних речовин, що утворюються під час згорання відходів, безпосередньо залежать від хімічного складу відходів і подачі повітря **[**3**]**. Неоднорідність відходів порушує стабільність процесу згорання і, відповідно, умови для утворення діоксинів та фуранів можуть змінюватися залежно від складу відходів та умов горіння. Отже, процес утворення діоксинів і фуранів під час спалювання відходів описує рівняння (2), а загальний перебіг реакції представлено в рівнянні (3):

$$\begin{aligned} &C + H_2 + Cl_2 + O_2 + N_2 \rightarrow \\ &\rightarrow CO_2 + CO + HCl + H_2O + N_2 + O_2 + \textit{ПХДД} + \textit{ПХДФ}\,, \end{aligned} \quad (2)$$

$$R - Cl + O_2 \xrightarrow[\textit{спалювання},\ t=200-700\,^\circ C]{} \textit{ПХДД} \,/\, \textit{ПХДФ}\,. \quad (3)$$

Найважливішими способами видалення діоксинів залишаються фізичні і хімічні методи розкладу, які слід широко використовувати в сміттєспалювальних заводах та інших підприємствах термічної оброблення/перероблення матеріалів згідно з найкращими доступними технологіями (Best Available Technology). До сучасних методів зменшення кількості діоксинів у відхідних газах термічних процесів належать методи селективної каталітичної редукції (SCR) і селективної некаталітичної редукції (SNCR), що дають змогу розкладати оксиди нітрогену, діоксини та діоксиноподібні токсичні ароматичні вуглеводні.

Ще одним методом ефективного очищення від діоксинів є введення у відхідні гази суміші пилуватого кальцію оксиду і вугілля. Отриману вапняно-вугільну добавку з адсорбованими ксенобіотиками кількістю навіть 50 мкг ТЕ/г повертають у піч або, за відсутності такої можливості, іммобілізують у бетоні. Діоксини і фурани, що утворюються під час охолодження димових газів, і пари ртуті необхідно видаляти з потоку відхідних газів перед їх емісією в атмосферу. Введення порошкоподібного активованого вугілля (ПАВ) також ефективно вирішує цю проблему. Активоване вугілля є вуглецевим адсорбентом з високою внутрішньою пористістю, і отже, великою внутрішньою поверхнею – від 500 до 1500 $м^2/г$. В активованому вугіллі розрізняють макропори (Ø>50 нм), мезопори (Ø=2-50 нм) і мікропори (Ø≤2 нм).

Введення у реакційне середовище (під час термічного процесу), що містить активоване вугілля, аміаку або інших азо- і аміносполук дає змогу більш успішно видаляти такі забруднення як сульфуру диоксид, гідрогену хлорид, ПХДД/ПХДФ (рис. 1). Розпад діоксинів відбувається внаслідок процесів дехлорації і дезоксидації ПХДД/ПХДФ (рис. 2).

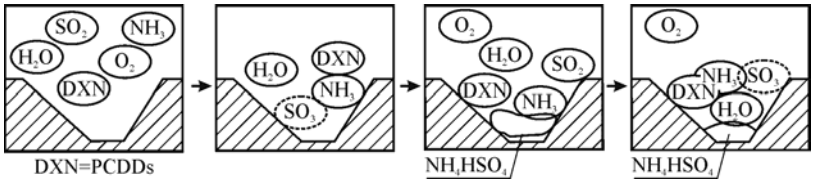

Рис. 1. Схема механізму адсорбції забруднювальних речовин на поверхні активованого вугілля (DXN – діоксини)

Після поступової дехлорації утворюється дибензо-*p*-діоксин і дибензофуран, який надалі може піддаватися термічному розпаду до простих низькомолекулярних сполук. Цьому процесові сприяє характерна структура і властивості активованого вугілля (наявність кислотних і основних сполук на поверхні вугілля, які утворюються з наявності гідрогену, що генерується аміаком та іншими сполуками).

Кислотно-лужні властивості активованого вугілля також впливають на руйнування кисневих містків і утворення поодиноких бензольних кілець.

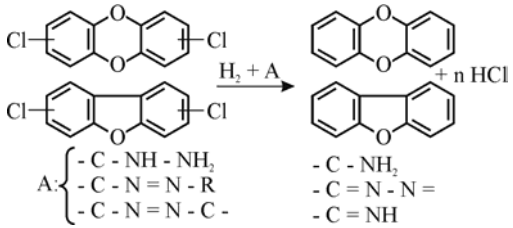

Рис. 2. Схема реакції дехлорації ПХДД/ПХДФ

Наявність у газах оксидів сульфуру, які змінюються внаслідок реакцій адсорбції і десорбції, а також інших сполук, таких як кислотні оксиди, сприяє розпаду бензольних кілець до карбону диоксиду і води. Типова реакція деструкції представлена на рис. 3:

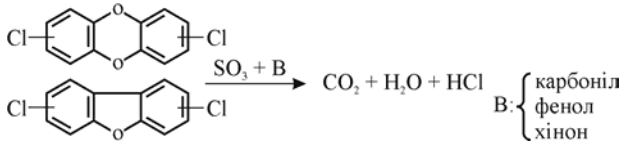

Рис. 3. Схема типової реакції деструкції ПХДД/ПХДФ

Під час спалювання відходів у температурному діапазоні 300-1200 °С відбувається розпад органічних речовин, утворення проміжних форм включно з ПХДД і ПХДФ, які не згоріли. Бензольні кільця (C_6H_6) не розщеплюються аж до температури 1400 °С. Ефективний і повний розпад органічних сполук відбувається в температурному діапазоні 1200-2000 °С. Згорання відбувається практично без утворення ПХДД і ПХДФ. У діапазоні 2000-3000 °С відбувається дуже ефективне і повне руйнування органічних сполук до атомів карбону, гідрогену і хлору та спостерігається співіснування молекул Cl_2 і HCl. У діапазоні 1500-3000 °С бензольні кільця (C_6H_6) розщеплюються (через 2 с), рекомбінація до ПХДД і ПХДФ неможлива. Вплив температури на розпад органічних полютантів за різних термічних способів утилізації відходів представлено на рис. 4.

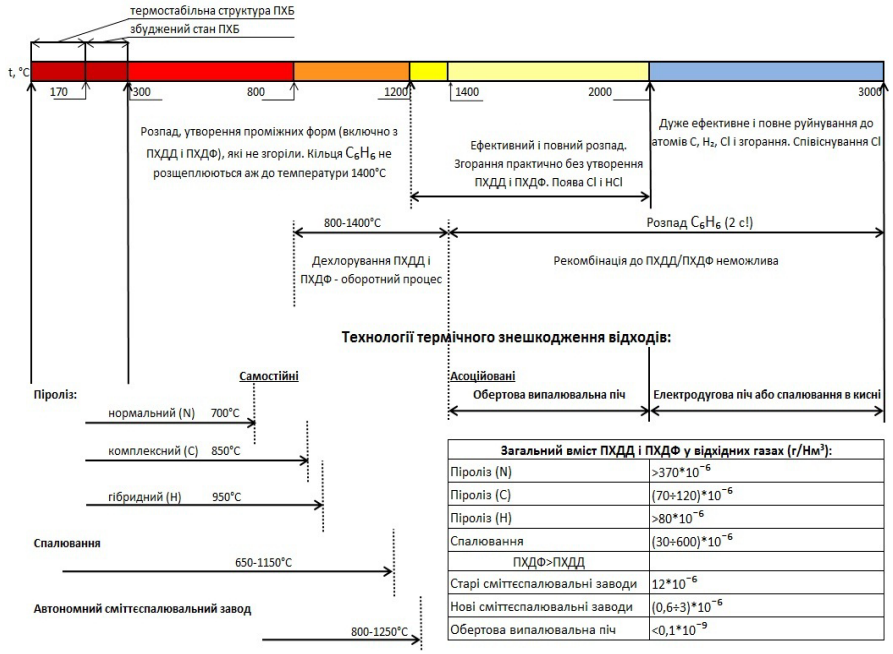

Рис. 4. Вплив температури на розпад органічних забруднень за різних термічних способів утилізації відходів

Крім спалювання відходів у сміттєспалювальних установках, відходи співспалюють в обертових випалювальних печах. У деяких країнах така практика дуже поширена (Бельгія, Швейцарія), в інших – знаходить гострий

спротив. Багато тестів показують, що значення показника ефективності руйнування і вилучення органічних сполук DRE (Destruction and Removal Efficiency) для обертових випалювальних печей є досить високим і становить 99,99-99,9999 %, що визначає вагомий рівень довіри до термічної утилізації горючих відходів у цих установках [4, 5]. Технологія виробництва портландцементного клінкеру передбачає роботу обертової випалювальної печі в температурному діапазоні 1500-1800 °С у зоні спікання клінкеру, тривалість перебування газів у цій зоні 2-5 с. Це температурний діапазон повного руйнування ПХДД і ПХДФ.

Енергетичне використання відходів як в цементних печах, так і в сміттєспалювальних установках повинно відповідати основним положенням міжнародних екологічних угод (Базельської і Стокгольмської конвенцій тощо) та чинному законодавству в галузі охорони довкілля. Термічні методи утилізації слід розцінювати як інтегровану частину сучасного управління відходами, оскільки це забезпечує екологічні підстави для раціонального управління ними.

Література

1. Brzuzy L.P. Global mass balance for polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans from soils / L.P. Brzuzy, R.A. Hites // Environ. Sci. Technol. – 1996. – Vol. 30 (6). – Pp. 1797-1804.
2. Саницький М.А. Екологічні аспекти спалювання вторинних паливних матеріалів у цементних печах / М.А. Саницький, С.Я. Хруник, О.Т. Мазурак, І.І. Кіракевич // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Теорія і практика будівництва. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2007. – № 602. – С. 160-165.
3. Moreno-Pirajan J.C. Evaluation of the dioxin and furan formation thermodynamics in combustion processes of urban solid wastes / J.C. Moreno-Pirajan, C.A. García-Ubaque, R. Fajardo, L. Giraldo, K. Sapag // São Paulo: Ecl. Quím. – 2007. – Vol. 32 (1). – Pp. 15-18.
4. Rajniak I. Operating conditions of combustion system and concentration of PCDD and PCDF in the flue gases / I. Rajniak, P. Dilara // Proc. Of the JRC Workshop on the "Determination of dioxins in industrial emissions". – Brno, 2002. – Pp. 15-33.
5. Grochowalski A. Nowoczesne metody termiczne jako jedyny, skuteczny sposób utylizacji odpadów niebiezpiecznych w tym weterynaryjnych i szpitalnych // VI Konf. Nauk. "Dioksyny w przemyśle i środowisku" (Kraków – Tomaszowice 26-27.09.2002). – Kraków : Wydawnictwo Naukowe Politechniki Krakowskiej. – 2002. – S. 1-13.

Хруник С.Я., Мазурак О.Т., Качмар Н.В. **Экологические проблемы термической утилизации отходов**

Исследована эмиссия в воздух высокотоксичных хлорорганических соединений типа диоксинов и фуранов при термической утилизации отходов, в частности при производстве цемента. Показаны источники, условия образования диоксиноподобных соединений и механизмы потенциальных способов снижения их выбросов.

Ключевые слова: термическая утилизация, горючие отходы, выбросы, токсичность, диоксины, фураны, адсорбция.

Khrunyk S.Ya., Mazurak O.T., Kachmar N.V. **Environmental problems of the thermal utilization of wastes**

The high toxic polychlorinated dioxins and furans air emissions from thermal utilization of wastes, in particular from cement production process, were investigated. It was shown the sources, formation conditions and mechanisms of dioxin-likes compounds release potential ways of decreasing.

Keywords: thermal utilization, combustible wastes, emission, toxicity, dioxins, furans, adsorption.

УДК 504.73.03:603 ***Зав. лаб. О.І. Блінкова[1], канд. біол. наук; зав. від. Н.А. Пашкевич[2], канд. біол. наук; аспір. Т.А. Козинятко[1]***

ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДЕГРАДАЦІЇ ЛІСОВИХ ТОРФОВИЩ ПІД ВПЛИВОМ ПОЖЕЖ

Виявлено основні причини пірогенної деградації торфових ґрунтів Рівненської області. Наведено результати польових і лабораторних досліджень, морфологічних особливостей та фізико-хімічних властивостей пірогенних утворень. Охарактеризовано вплив торф'яних пожеж на хімічний склад поверхневих вод. Охарактеризовано особливості заростання пірогенних утворень. Запропоновано заходи охорони і раціонального використання осушених торфових ґрунтів.

Ключові слова: торфові ґрунти, морфологічні і фізико-хімічні властивості торфових ґрунтів, пірогенна деградація, рослинний покрив, гідрохімія поверхневих вод.

Постановка проблеми. Збереження й раціональне використання торфових боліт – одне з пріоритетних завдань міжнародної політики охорони навколишнього середовища та протидії негативним наслідкам змін клімату. У сучасних умовах одним з найбільш уразливіших типів водно-болотних угідь є торфові болота, що перебувають під загрозою деградації, і є надзвичайно важливими екосистемами з унікальним біорізноманіттям, мають фітоісторичне, ботаніко-географічне значення, виконують водорегулівну функцію [2]. Антропогенна діяльність призвела до порушення динамічної рівноваги у водно-болотних екосистемах, трансформації структури та порушення зв'язків між їх основними компонентами, що зумовлено низькою стійкістю таких екосистем до різких коливань природних умов, їх генезисом і ландшафтним розподілом. Подібних кардинальних змін вони зазнають після меліорацій та часто необґрунтованого з екологічних та економічних позицій, використання цих територій як сільськогосподарських угідь [2, 5]. Великомасштабні пожежі торфовищ трапляються в Російській федерації, Білорусії, країнах Прибалтики, Польщі. В Україні пожежі на торфовищах найчастіше виникають у межах Українського Полісся, Передкарпаття, Малого Полісся, де зосереджені головні масиви торфових ґрунтів. У Земельному кодексі України зазначено, "торфовища з глибиною залягання торфу більше 1 м і осушені незалежно від глибини…", належать до особливо цінних земель, а отже, потребують особливої охорони і раціонального використання.

На сьогодні в Україні близько 1 млн га осушених торфовищ, основна частина яких знаходиться в правобережному Поліссі у межах саме Рівненської області. Площа земель меліоративного фонду Рівненської області становить 534,8 тис. га (26,7 % від загальної площі земель), з яких меліоровані торфові ґрунти займають 32 % меліорованих земель області [3]. Серед низки небажаних процесів, що простежуються на осушених торфовищах, є їх деградація під впливом пірогенного фактору. В особливо посушливі роки затяжні пожежі на торфовищах регіону можуть тривати до кількох тижнів, завдаючи значних матеріальних збитків, порушуючи екологічну рівновагу довкілля та

[1] Інститут агроекології і природокористування НААН;
[2] Науковий центр екомоніторингу та біорізноманіття мегаполісу НАН