

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ПРОЦЕСІВ

### ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ПРОЦЕСУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ КАРБОНОВМІСНИХ ВІДХОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АНАЛІЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Хорошко Т. І., Минько О. В., Джигирей І. М.

### ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КАРБОНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Хорошко Т. И., Минько А. В., Джигирей И. Н.

### ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF ENERGY RECOVERY OF CARBON-CONTAINING WASTES USING LIFE CYCLE ANALYSIS

Khoroshko T. I., Mynko O. V., Dzhygyrey I. M.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Київ, Україна  
[khoroshko.tanya@gmail.com](mailto:khoroshko.tanya@gmail.com)

*У статті розглянуто актуальну проблему накопичення в Україні твердих побутових відходів та технологію їх пароплазмової газифікації як один зі шляхів вирішення проблеми екологічно безпечної утилізації карбонівмісних відходів. Проведено екологічну оцінку енергетичного відновлення карбонівмісних відходів. Показано переваги і недоліки продукту газифікації відходів у контексті життєвого циклу цієї продукційної системи.*

**Ключові слова:** відходи, вплив, екологічна оцінка, енергетичне відновлення, життєвий цикл, пароплазмова газифікація

*В статье рассмотрена актуальная проблема накопления в Украине твердых бытовых отходов и технология их пароплазмовой газификации как один из путей решения проблемы экологически безопасной утилизации карбоносодержащих отходов. Проведена экологическая оценка энергетического восстановления карбоносодержащих отходов. Показаны преимущества и недостатки продукта газификации отходов в контексте жизненного цикла этой производственной системы.*

**Ключевые слова:** влияние, жизненный цикл, отходы, пароплазмовая газификация, экологическая оценка, энергетическое восстановление

*The article shows the actual problem of accumulation of solid household waste in Ukraine and the technology of their steam plasma gasification as one of the ways to solve the problem of environmentally safe utilization of carbon-containing wastes. An environmental assessment of the energy recovery of carbon-containing wastes has been carried out. The advantages and disadvantages of the product of wastes gasification in the context of the life cycle of this product system are shown.*

**Keywords:** impact, energy recovery, environmental assessment, life cycle, steam plasma gasification, wastes

## ВСТУП

Проблему накопичення в Україні твердих побутових відходів (ТПВ) пов'язано, зокрема, з труднощами утилізації несортованого потоку відходів. Попереднє сортування ТПВ практично не проводиться, а глибоке механічне сортування технологічно складне, тому широко не використовується. Як вказано у тексті Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року схваленої КМУ у листопаді 2017 року, домінуючим способом поводження з побутовими відходами залишається їх вивезення та захоронення на полігонах та сміттєзвалищах.

Технологія, що застосовується для утилізації твердих побутових та подібних промислових відходів, повинна враховувати особливості морфологічного й хімічного складу потоку, забезпечувати утилізацію в екологічно безпечному режимі, а отримані вихідні продукти мають бути придатними для їх подальшого використання як альтернативного палива.

Процеси термічної деструкції вирішують проблему знешкодження ТПВ, що особливо актуально для деяких специфічних видів відходів, й уможливує використання енергетичного потенціалу відходів. Оскільки процеси спалювання призводять до утворення токсичних речовин, є необхідність заміни технології спалювання, наприклад, піролізом та газифікацією відходів. Процес плазмової газифікації (піролізу) забезпечує екологічно чисте перероблення відходів без утворення смол, діоксинів, аерозолів тощо, дає змогу досягти вилучення всього карбону з матеріалу відходів.

Актуальним є максимальне відпрацювання технологічних режимів методу, проведення процесу утилізації органічних відходів із забезпеченням екологічності процесу й в повній мірі використання енергетичних властивостей відходів з отриманням якісного вихідного продукту, який у подальшому можна буде використовувати як альтернативне паливо. Для цього потрібно досконало дослідити фізико-хімічні властивості, кількісний та якісний склад ТПВ як сировини.

## ПАРОПЛАЗМОВА ГАЗИФІКАЦІЯ КАРБОНОВМІСНИХ ВІДХОДІВ

Технології плазмової переробки різних видів небезпечних відходів імплементовано порівняно нещодавно, проте багато підприємств активно розвивають саме цей напрямок. Так, роботи з пароплазмової газифікації твердих карбонівмісних відходів активно ведуться в США, Росії, Україні, Індії та інших країнах [1]. Енергетичним відновленням (газифікацією) називають високотемпературні процеси взаємодії органічної маси твердих або рідких горючих копалин або продуктів їх термічної переробки з повітрям, киснем, водяною парою, двоокисом карбону або їх сумішами, в результаті яких органічна частина палива перетворюється на горючі гази (синтез-газ). Тверді побутові відходи можна використовувати як сировину, у разі утилізації якої можна отримувати корисні вихідні продукти, придатні для подальшого використання.

Плазмова технологія, як альтернатива будь-яким способам спалювання, полягає в розкладанні складних молекул всіх речовин у прості в умовах екстремально високих температур і за відсутності вільного кисню. Техніко-економічне порівняння різних варіантів використання синтез-газу, отриманого у разі газифікації відходів різними методами, показує, що застосування пароплазмової газифікації дає змогу знизити експлуатаційні витрати порівняно з іншими методами.

Розглянемо такий процес газифікації ТПВ [2]. Тверді побутові відходи з

органічним складником надходять через пристрій завантаження 3 в пароплазмову піч 4 (рис. 1). У піч вбудовано плазмотрон, за допомогою якого її розігрівають. Спочатку плазмотроном вдувають повітря, яке подається компресором 6. Коли ТВП потрапляють до печі, то переходять в парову плазму, яка надходить з парогенератора 5. Плазмотрон працює від двох послідовно з'єднаних джерел живлення «Плазма-2» 4. Так як плазмотрон мідний та нагрівається під час роботи до екстремально високих температур, то його необхідно охолоджувати. Для цього використовують воду, яка прокачується колом через градирню 7, де охолоджується і надходить на катод та анод плазмотрону. Після процесу часткового спалювання ТВП та їх газифікації продукти через пневмотракт надходять у скрубер Вентурі. Під час проходження через сопло Вентурі суміш охолоджується та зрошується содовим розчином в скрубері 8. Вода на сопло надходить з контуру охолодження, що включає градирню 15. Содовий розчин готується в баці 13. Після зрошення очищений синтез-газ надходить до відокремлювача вологи 9 та за допомогою вентилятора 10 направляється на подальше перероблення. Відпрацьований содовий розчин зі скрубера частково надходить на теплообмінник 11, де охолоджується і після нього проходить через фільтр очищення 12. Частина розчину після фільтру відправляється в нижню частину скрубера, а решта повертається в скрубер на зрошення суміші. Відпрацьований содовий розчин надходить до баку 14, звідки далі відправляється на очищення або утилізацію.

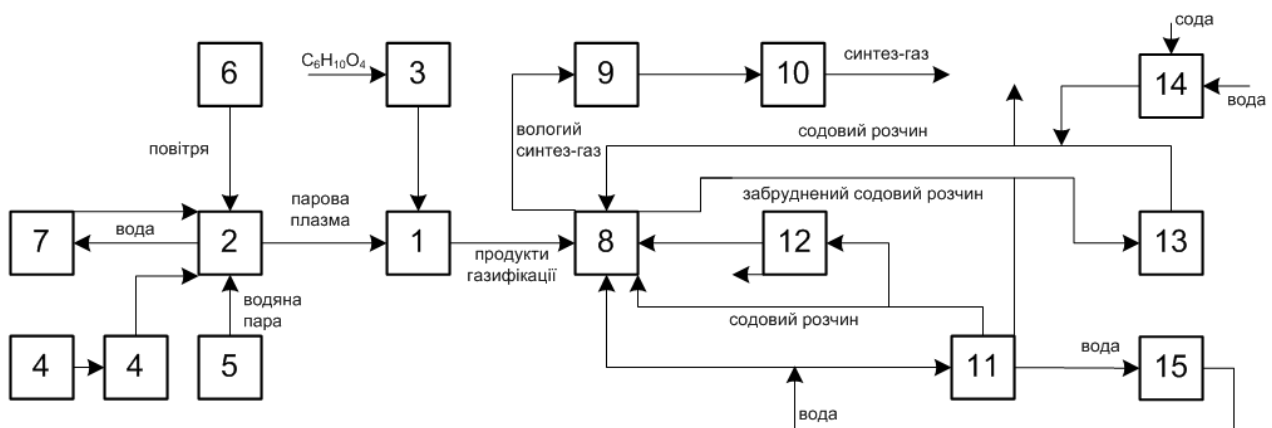


Рис. 1. Схема процесу пароплазмової газифікації твердих карбоновмісних відходів: 1 – піч пароплазмова; 2 – плазмотрон; 3 – пристрій завантаження; 4 – послідовно з'єднані джерела живлення «Плазма-2»; 5 – парогенератор; 6 – компресор; 7, 15 – градирні; 8 – скрубер Вентурі; 9 – відокремлювач вологи; 10 – вентилятор; 11 – теплообмінник; 12 – фільтр очищення содового розчину; 13 – бак содового розчину; 14 – бак забрудненого содового розчину (шламу)

### ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ПАРОПЛАЗМОВОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ КАРБОНОВМІСНИХ ВІДХОДІВ

Процес енергетичного відновлення карбоновмісних відходів впливає на довкілля та здоров'я людини. Об'єктом інвентаризаційного аналізу в цьому дослідженні є життєві цикли двох продукційних систем, природного газу та синтез-газу, отриманого за допомогою пароплазмової газифікації відходів, у контексті їх порівняльної оцінки. Функціональною одиницею для порівняльної оцінки життєвого циклу обрано 1000 ккал газу. Під час оцінювання враховано ключові одиничні

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ПРОЦЕСІВ

процеси у межах продукційних систем для подальшої оцінки впливу життєвого циклу. Оцінювання проведено за допомогою програмного забезпечення PEER [3], деякі результати якого представлено у табл. 1.

Таблиця 1. Деякі категоріальні оцінки екологічного впливу енергетичного відновлення карбоновмісних відходів щодо природного газу

Категорія впливу	Одиниця вимірювання	Синтез-газ	Природний газ
Зміна клімату	кг CO <sub>2</sub> -екв.	0,0259	0,0397
Токсичність для людини	кг 1,4-ДХБ* – екв. у повітря	2,04×10 <sup>-4</sup>	6,67×10 <sup>-6</sup>
Утворення фотохімічних окиснювачів	кг НМЛОС**	1,02×10 <sup>-4</sup>	3,78×10 <sup>-5</sup>
Утворення твердих часток	кг РМ <sub>10</sub> -екв.	5,43×10 <sup>-5</sup>	7,88×10 <sup>-6</sup>
Підкислення наземних екосистем	кг SO <sub>2</sub> -екв.	1,77×10 <sup>-4</sup>	2,01×10 <sup>-5</sup>
Виснаження викопних енергоресурсів	кг нафти-сирця екв.	0,00844	0,10460

\* дихлорбензол, \*\* неметанові леткі органічні сполуки

Для зручності порівняння продукційних систем побудовано діаграми результатів оцінювання за категоріями впливу (рис. 2).

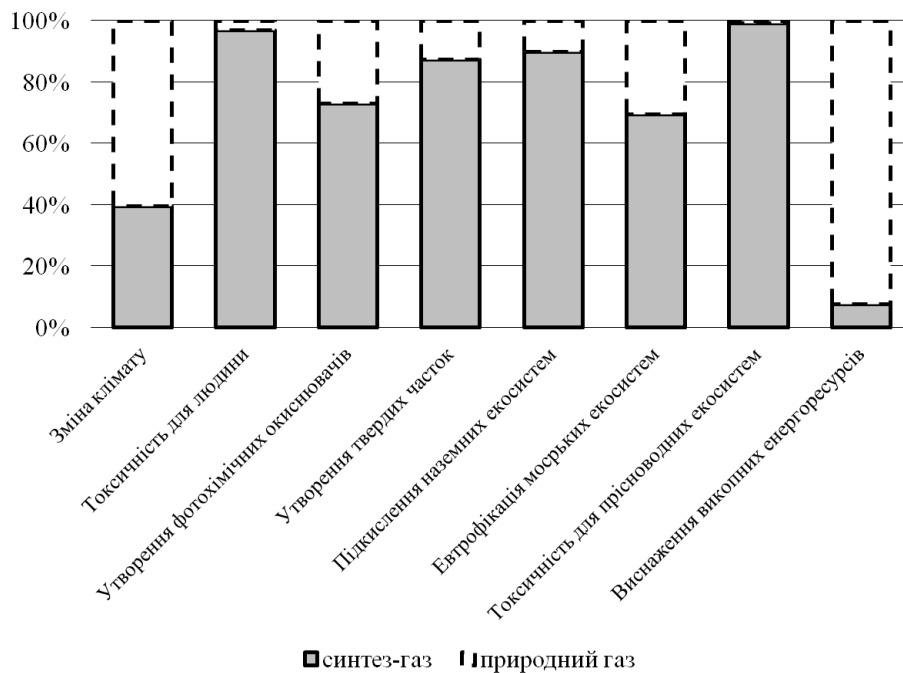


Рис. 2. Нормовані оцінки деяких категорій екологічного впливу синтез-газу і природного газу

### ВИСНОВКИ

Загальна та категоріальні оцінки екологічного впливу, отримані на основі методів аналізу життєвого циклу, процесу енергетичного відновлення карбоновмісних відходів порівняно з видобуванням природного газу показали, що продукційна система отримання синтез-газу пароплазмовою газифікацією відходів має вищий екологічний вплив для усіх категорій крім змінювання клімату та

виснаження викопних ресурсів. Результати оцінювання показують необхідність зменшення екологічного впливу процесу щодо таких сфер захисту як природне навколишнє середовище і здоров'я людини, особливо у категоріях токсичності для людини й токсичності для наземних, морських і прісноводних екосистем, виснаження водних ресурсів та інших. Зменшення впливу можна досягти за допомогою попередньої підготовки відходів, зниження обсягів утворення димових газів і проведення додаткового очищення отриманого газу.

### ПОДЯКА

Дякуємо Відділу плазмових технологій і процесів Інститут газу НАН України в особі д. т. н., п. н. с. Петрова Станіслава Володимировича за сприяння дослідженню, підтримку та співпрацю.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Маркіна Л. Н., Рыжков С. С. Экспериментальные исследования утилизации отходов методом многоконтурного циркуляционного пиролиза. *Зб. наук. праць НУК*. № 5 (416). Миколаїв : НУК, 2007. С. 100–106.
2. Пат. 55935 Україна, кл. F23G 5/027. Спосіб двостадійного процесу газифікації органічної частини твердих побутових відходів. Л. М. Маркіна, С. С. Рижков, М. В. Рудюк. Заявник і патентоотримувач Нац. ун-т кораблебудування. № 55935 ; заявл. 07.09.10 ; опубл. 27.12.10, Бюл. № 24.
3. Dzhygyrey I., Mynko O. Product specialized software applications for life cycle assessment. *Збірник наукових статей Шостої міжнар. наук.-практ. конф. Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2018*. 16-18 травня 2018 року. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 73-76.

## ОЦІНКИ ПРОЦЕСУ РОЗСІЯННЯ ВИКИДІВ ГАЗОПОДІБНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ

Запорожець Ю. А.

## ОЦЕНКА ПРОЦЕССА РАССЕЙВАНИЯ ВЫБРОСОВ ГАЗОПОДОБНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

Запорожец Ю. А.

## ASSESSMENT OF THE DISPERSION OF GAS-LIKE CHEMICALS IN THE ATMOSPHERE

Zaporozhets J.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»  
м. Київ, Україна  
[z.juli@bigmir.net](mailto:z.juli@bigmir.net)

*В статті проаналізовані можливі джерела та шляхи забруднення навколишнього середовища, розглянуті явища, що протікають в ході роботи підприємства. Для розрахунку забруднення повітря, після випаровування хімічних речовин, було визначено максимальну концентрацію забруднюючої речовини при проходженні первинної хмари, утвореної при витоку рідкої НХР на поверхні.*