



## ТЕРМОДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГАЗИФІКАЦІЇ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ



### Назар Лисий

аспірант кафедри екологічної безпеки  
Львівського державного університету  
безпеки життєдіяльності, Україна

[lysyyr@gmail.com](mailto:lysyyr@gmail.com)



### Андрій Гелеш

доктор технічних наук,  
професор кафедри хімії і технології  
неорганічних речовин  
НУ «Львівська політехніка», Україна

[andrii.b.helesh@lpnu.ua](mailto:andrii.b.helesh@lpnu.ua)



### Василь Попович

доктор технічних наук,  
професор кафедри екологічної безпеки  
Львівського державного університету  
безпеки життєдіяльності, Україна

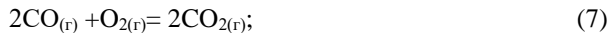
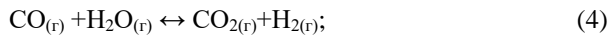
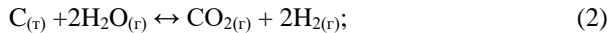
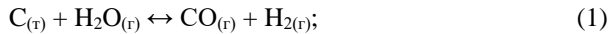
[popovych2007@ukr.net](mailto:popovych2007@ukr.net)

Шахтні відвали, що залишаються після видобутку вугілля, становлять значну екологічну проблему через їхній потенціал забруднення ґрунту, води та повітря. Традиційні підходи до управління цими відходами часто зосереджені на їхній локалізації, але принципи сталого розвитку вимагають більш інноваційних та екологічно безпечних стратегій, які дадуть змогу комплексно переробити ці відходи.

Враховуючи те, що в цих відходах вміст вугілля досягає 30% вони можуть слугувати нетрадиційним джерелом енергії. Технологічно доцільним способом їх утилізації є піроліз та газифікація вугілля. Ці методи перетворюють вуглецевмісні відходи на синтетичний газ (генераторний, «водяний» тощо), який можна використовувати як ефективне паливо. Крім

того, відвали вуглевидобутку містять доволі значну кількість рідкоземельних елементів та сполуки сірки, які також доцільно залучити у сферу виробництва.

На першому етапі досліджень було проведено термодинамічні розрахунки, головною метою яких було встановлення термодинамічної ймовірності перебігу процесів в досліджуваному діапазоні температур. Для досягнення поставленої мети розраховували значення енергії Гіббса ( $\Delta G$ ) та константи рівноваги усіх головних реакцій у виробництві синтетичного газу:



Для всіх ендотермічних рівноважних реакцій (1)–(4) із зростанням температури енергії Гіббса зменшується, а константа рівноваги – зростає. Всі ці реакції характеризуються температурою за якої  $\Delta G_{reak} = 0$ ,  $Kp = 1$ . Тобто це «точка динамічної рівноваги», за якої швидкість прямої і зворотної реакцій рівна. Значення цих температур лежать в межах 658 – 860 °С.

Зростання константи рівноваги на порядок ( $Kp \sim 10$ ) для реакцій (1) – (3) відбувається в діапазоні температур 860 – 890 °С. Тобто можна стверджувати що за температур  $>860$  °С вміст інертів в газовій суміші ( $CO_2$  та  $H_2O$ ) буде мінімальним, а тому процес конверсії вуглецю технологічно доцільно проводити за температур вище 860 °С. Реакція (4) характеризує зміну рівноважного газового складу системи, яка утворилася в процесі конверсії вуглецю. Тобто вона має визначальний вплив на склад газу, але незначний – на його енергетичні характеристики.

Всі екзотермічні процеси (5)–(8) відбуваються за від’ємних значень енергій Гіббса та дуже високих  $Kp$  від  $7 \cdot 10^{12}$  до  $2 \cdot 10^{29}$ , тобто практично рівновага реакції повністю зміщена вправо і в усьому досліджуваному температурному діапазоні відбувається повне (100%) перетворення вихідних речовин у продукти реакції.

Загальну автотермічність процесу можна забезпечити поєднанням ендотермічних процесів (1)–(4) та екзотермічних (5)–(8). Разом з тим, головним недоліком такого підходу є розведення газів конверсії інертним газом – азотом, який надходить в процес з киснем повітря. Тому наступним етапом теоретичних досліджень будуть матеріальні та енергетичні розрахунки процесів конверсії вугілля відвалів вуглевидобутку.