



Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції  
«Екологія. Людина. Суспільство» (5 червня 2024 р., м. Київ, Україна)

Handbook of the XXIV International Science Conference  
«Ecology. Human. Society» (June 5, 2024, Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.304147>

## КАТАЛІТИЧНИЙ КРЕКІНГ ПОЛІСТИРОЛУ НА ЦЕОЛІТНИХ КАТАЛІЗАТОРАХ

**Марина САКАРА, Владислав ІВАНЕНКО, Віктор КУРИЛЕНКО,  
Олена ЯНУШЕВСЬКА, Тетяна ДОНЦОВА**

*Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського*

Берестейський проспект, 37, м. Київ, Україна

**e-mail:** [ivanenko.vladislav@iill.kpi.ua](mailto:ivanenko.vladislav@iill.kpi.ua)

### **Анотація**

*Метою даної роботи є дослідження ефективності каталітичного крекінгу як методу переробки пластикових відходів, зокрема полістиролу, з використанням каталізаторів на основі природного цеоліту. Процес каталітичного крекінгу полістиролу вивчали за температури 170-185 °С, після чого визначали вихід рідкої фракції, яку досліджували ІЧ-спектроскопією. Результати аналізу свідчать про більшу каталітичну активність природного цеоліту.*

**Ключові слова:** *пластикові відходи, полістирол, каталітичний крекінг, природні та синтетичні цеолітні каталізатори.*

Пластик став невід'ємною частиною нашого повсякденного життя через свою міцність, легкість та відносну дешевизну. Однак його надмірне використання та недостатньо досконалі технології переробки створюють серйозну екологічну загрозу, шкодячи здоров'ю людей, тварин і рослин. Загалом у світі 46% пластикових відходів відправляється на сміттєзвалища, а 22% взагалі не охоплені системою поводження із відходами та перетворюються з часом у сміття. На відміну від інших матеріалів, пластик практично не піддається біодеградації і на його руйнування, за різними експертними оцінками, може знадобитись до 1000 років, через що накопичення пластикових відходів у довкіллі викликають глобальне занепокоєння [1].

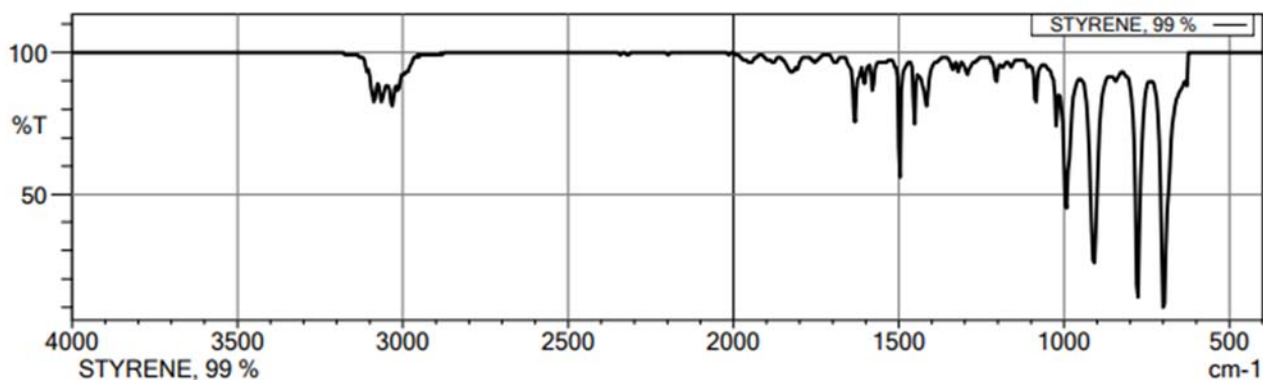
Полістирол (PS), відсоток якого у загальному обсязі пластикових відходів складає 20%, дуже повільно піддається біологічному розкладанню в природному середовищі [2], саме тому PS зберігається протягом тривалого часу у довкіллі. У той же час PS є представником полімерів, що відносять до термопластів, які за нагрівання до певної температури здатні оборотно переходити у в'язкотекучий стан, і завдяки цьому PS успішно піддається крекінгу з утворенням більш низкомолекулярних сполук. Каталітичний крекінг є одним з перспективних методів хімічної переробки пластикових відходів у рідке паливо, яке може розглядатись як комерційний продукт [3, 4]. У дослідженні [5] повідомляється про каталітичну деструкцію PS на твердих кислотно-основних каталізаторах, в синтезі яких частково комбінували кислоти і основи для покращення їх селективності по відношенню до рідких продуктів. Було виявлено, що твердий основний каталізатор (KFe/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) виявив ефективність в процесі розкладання PS, селективність виходу стирулу складала 83,2 % при загальному виходу рідких продуктів ~ 83%. Каталізатор показав пролонговану активність і стабільність в роботі, він не потребував регенерації протягом кількох циклів, що є ознакою його перспективного використання в процесах деполімерізації пластиків. У роботі [6] досліджено каталітичне перетворення

полістиролу на цеолітних катализаторах: HZSM-5, H $\beta$ , HY, and USY. Найбільшу селективність щодо бензолу та етилбензолу показав ультрастабільний цеоліт Y (USY) з великим розміром пор – 5,6 нм. У роботі [7] досліджено процес каталітичного піролізу PS з використанням катализаторів природного цеоліту та синтетичного цеолітів. У каталітичних піролізних продуктах з використанням природного цеоліту, основними сполуками були: стирол (60,8%), метилстирол (10,7%), тоді як у каталітичному піролізі з синтетичним цеолітом, основними сполуками були: альфа-метилстирол (38,4%), стирол (15,8%), бензол (16,3%), етилбензол (9,9%), ізопропілбензол (8,1%). Встановлено, що середнє значення вищої теплотворної здатності (HHV) рідких продуктів каталітичного піролізу з використанням природних цеолітів і синтетичних цеолітів становить 41,7 і 40,6 МДж/кг відповідно. Це свідчить, що отримані рідкі масла можуть бути придатні для опалення та виробництва енергії, що демонструє перспективність використання цеолітів як природного, так і синтетичного походження в процесах термокаталітичних перетворень пластиків, зокрема, полістиролу у рідкі продукти.

Метою роботи є дослідження каталітичної активності катализаторів на основі української сировини для низькотемпературного каталітичного крекінгу полістиролу.

Як катализатори використовували природний цеоліт Сокирницького родовища (ZeO-0) та його кислото-активована форма (ZeO-1). За хімічним складом природний цеоліт містив 65-71% оксиду кремнію (SiO<sub>2</sub>) та 11-13% оксиду алюмінію (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), з молярним співвідношенням Si/Al в діапазоні від 4,8 до 5,4. Процес активації природного цеоліту проводили обробкою 2M розчином HNO<sub>3</sub> для збільшення його питомої площі поверхні. Питомою площею поверхні ZeO-0 становила 12 м<sup>2</sup>/г, а ZeO-1 – 39 м<sup>2</sup>/г.

Каталітичний крекінг полістиролу проводили наступним чином. У круглодонну колбу засипали наважку зразків полістиролу (25 г) та відповідного катализатора (5 г). Процес відбувався за температури T = 170-185 °C. Температура парів під час конденсація рідкої фази становила T = 115-125 °C. Вихід рідкої фракції за застосування ZeO-0 становила 61,4%, а за застосування ZeO-1 – 52,3%. Рідку фазу аналізували ІЧ-спектроскопією, результати якої наведено на рисунку 1 (спектри мали однаковий характер). Аналіз інфрачервоних спектрів вказує на присутність тільки стиролу в рідких продуктах крекінгу для обох катализаторів.



**Рис. 1.** ІЧ-спектр рідкого продукту внаслідок крекінгу полістиролу із застосуванням ZeO-0 та ZeO-1

Отже, як можна бачити з отриманих даних, найбільш перспективним катализатором є природний цеоліт, де вихід рідкої фази становить на приблизно 10 % більше, аніж у випадку використання кислото-активованого цеоліту. В подальшому планується дослідження каталітичного крекінгу в середовищі водню.

### **Література**

1. Everything you need to know about plastic pollution. UN Environment programme. April 25, 2023. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/everything-you-need-know-about-plastic-pollution>.
2. Ho, B.T., Roberts, T.K., Lucas, S. (2018). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach. *Crit. Rev. Biotechnol.*, 38(2), 308–320. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1355293>.
3. Thambiyapillai, S. and Ramanujam, M. (2021). An Experimental Investigation and Aspen HYSYS Simulation of Waste Polystyrene Catalytic Cracking Process for the Gasoline Fuel Production. *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 10(4), 891–900. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.33817>.
4. Gonzalez-Aguilar, A.M., Pérez-García, V., Riesco-Ávila, J.M. (2023). A Thermo-Catalytic Pyrolysis of Polystyrene Waste Review: A Systematic, Statistical, and Bibliometric Approach. *Polymers*, 15, 1582. <https://doi.org/10.3390/polym15061582>.
5. Joshi, B., Raghav, H., Agrawal, A., Vempatapu, B.P., Ray, A., Sarkar, B. (2023). Sustainable production of styrene from catalytic recycling of polystyrene over potassium promoted Fe–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. *Sustainable Energy Fuels*, 7(5), 1256–1264. <https://doi.org/10.1039/D2SE01584F>.
6. Wang, J., Jiang, J., Sun, Y., Zhong, Z., Wang, X., Xia, H., Liu, G., Pang, S., Wang, K., Li, M., Xu, J., Ruan, R., Ragauskas, A.J. (2019). Recycling benzene and ethylbenzene from in-situ catalytic fast pyrolysis of plastic wastes. *Energy Convers. Manag.*, 200, 112088. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112088>.
7. Rehan, M., Miandad, R., Barakat, M.A., Ismail, I.M.I., Almeelbi, T., Gardy, J., Hassanpour, A., Khan, M.Z., Demirbas, A., Nizami, A.S. (2017). Effect of zeolite catalysts on pyrolysis liquid oil. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, 119, 162–175. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.015>.

## CATALYTIC CRACKING OF POLYSTYRENE ON ZEOLITE CATALYSTS

**Marina SAKARA**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0000-0108-1760>

**Vladyslav IVANENKO**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0007-3844-9611>

**Viktor KURYLENKO**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7569-767X>

**Olena JANUSHEVSKA**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3457-8965>

**Tatiana DONTSOVA**

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-8189-8665>

**DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.304147>**

**Keywords:** *plastic waste, polystyrene, catalytic cracking, natural and synthetic zeolite catalysts.*

### **Abstract**

The aim of this study is to investigate the efficiency of catalytic cracking as a method of processing plastic waste, in particular polystyrene, using catalysts based on natural zeolite. The process of catalytic cracking of polystyrene was studied at a temperature of 170-185 °C, after which the yield of the liquid fraction was determined and analysed by infrared spectroscopy. The results of the analysis indicate a higher catalytic activity of natural zeolite.