

УТИЛІЗАЦІЯ КАРБОН (IV) ОКСИДУ ШЛЯХОМ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ КАРБАМІДУ

Михайлова Є.О.

*Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця, Харків*

У зв'язку з глобальним потеплінням і посиленням кліматичних змін, що спричинено, зокрема і викидами парникових газів, першочергового значення набуває пошук ефективних методів зменшення концентрації карбон (IV) оксиду (CO_2) в атмосфері. Одним із перспективних напрямів є його хімічна утилізація, тобто перетворення у корисні продукти. Прикладом таких продуктів може стати карбамід ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) – один із найважливіших хімічних продуктів, що широко застосовується в сільському господарстві як нітратне добриво, а також у хімічній, фармацевтичній та полімерній промисловості.

Традиційно карбамід одержують шляхом реакції амоніаку (NH_3) з карбон (IV) оксидом під високим тиском (13 – 21 МПа) і температурою (433 – 473 К). Однак сучасні виклики сталого розвитку і зниження викидів парникових газів стимулюють розвиток альтернативних технологій, зокрема електрохімічного синтезу карбаміду. Цей спосіб ґрунтується на одночасному електровідновленні CO_2 та нітрогеновмісних сполук (NO_3^- , NO_2^- , N_2) у присутності відповідного каталізатора. Процес може включати стадії відновлення сполук нітрогену до амоніаку, а також паралельне перетворення карбон (IV) оксиду до активованих форм, здатних до утворення карбаміду, наприклад, карбон (II) оксиду (CO).

Електрохімічний синтез карбаміду може здійснюватися в електролізері за умов навколишнього середовища, що робить його більш енергоощадним порівняно з традиційними методами. Ефективність процесу значною мірою залежить від вибору електрокаталізатора. Сучасні дослідження вказують, що найбільшу ефективність мають молібденові, мідні або залізовмісні сполуки; металоорганічні каркаси; гетероструктури з переходом металів; одноатомні каталізатори, які демонструють високу селективність до утворення карбаміду. Каталізатори повинні забезпечувати одночасне зв'язування та активацію молекул CO_2 та нітрогеновмісних сполук, сприяючи утворенню C–N зв'язків.

До переваг електрохімічного синтезу карбаміду належать: екологічність (використання CO_2 як сировини сприяє зменшенню викидів парникових газів), енергоефективність (процес можна здійснювати за умов кімнатної температури і тиску), можливість використання відновлюваних джерел енергії – сонячних або вітрових установок, модульність та масштабованість (можливість побудови локальних установок для синтезу карбаміду поблизу місць споживання).

Незважаючи на потенціал, електрохімічний спосіб стикається з низкою технічних і наукових проблем, а саме: низьким виходом і селективністю продукту через конкуренцію з реакцією виділення водню, необхідністю у високоселективних та стабільних каталізаторах, складністю виявлення й кількісного аналізу карбаміду в присутності побічних продуктів. Проте, активні дослідження у галузі електрокаталізу, нанотехнологій та оптимізації реакторів відкривають широкі перспективи для комерціалізації цього процесу.