

## ТЕХНОЛОГІЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН, ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ ТА ГАЗУ

А. М. Лудин, В. В. Реутський

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технології органічних продуктів  
anatolii.m.ludyn@lpnu.ua

### ВИКОРИСТАННЯ ХРОМОКСАНУ В ПРОЦЕСІ ОКИСНЕННЯ ЦИКЛОГЕКСАНУ

<https://doi.org/10.23939/ctas2022.02.072>

Розглянуто способи використання хромоксану в процесі окиснення циклогексану. Досліджено різні технологічні параметри використання хромоксану для окиснення циклогексану та вплив їх на основні показники цього процесу. Визначено сумісний вплив хромоксану у складі бінарних систем з різноманітними солями металів змінної валентності на їх каталітичну активність під час окиснення циклогексану.

**Ключові слова:** хромоксан; циклогексан; окиснення; конверсія сировини; селективність за цільовими продуктами; каталізатор; нафтенат кобальту.

#### Вступ

Хромоксан (перфтор-4-метил-3,6-діоксаоксансульфонат калію), хімічна формула  $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{OCF}_2\text{CF}(\text{CF}_3)\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_3\text{K}$ , належить до класу солей перфторованих сульфокислот. Хромоксан має властивості гідро- та олеофобізації, що дає змогу надавати різноманітним матеріалам (тканинам, шкірі, пластмасам) вологостійкості, а також стійкості до забруднень. На відміну від нефторованих ПАР, він є поверхнево-активним у вуглеводневих оліях та розчинниках, понижуючи їх і так невеликий поверхневий натяг. Важливо, що він не розкладається за дії концентрованих кислот, лугів, окисників та електролітів.

Хромоксан є ефективною поверхнево-активною речовиною, яка запобігає винесенню хрому під час гальванічного хромування сталевих виробів, у результаті чого поліпшується якість гальванічного покриття та зменшується втрата розчину електроліту [1]. Відоме дослідження, у якому хромоксан використано для приготування розчинів з метою нанесення гальванічних покриттів під час хімічного нікелювання виробів [2]. В науковій літературі наводять інформацію про дослідження можливості застосування хромоксану в складі бінарного каталізатора для гомогенного окиснення етилбензолу [3]. Також є

відомості про застосування хромоксану для ініціювання каталізаторів окиснення циклогексану [4].

Процес окиснення циклогексану (ЦГ) дає важливу сировину для виробництва поліамідних волокон і тому виконує важливу роль у хімічній промисловості. Цільовими продуктами окиснення ЦГ є циклогексанол (ЦОЛ), циклогексанон (ЦОН), а також гідропероксид циклогексилу (ГПЦГ), який на подальших стадіях розкладається з утворенням ЦОЛ та ЦОН. Як побічні продукти в цьому процесі утворюються естери, основну частину яких становить дициклогексил адипінат та кислоти, переважно адипінова.

У промислових процесах окиснення ЦГ використовують каталізатор – нафтенат кобальту, однак у нього є недоліки, серед яких невисокі показники селективності за цільовими продуктами та низькі значення конверсії вихідної сировини. Все це спричиняє енергозатрати на виробництві, що пов'язано з рециркуляцією непрореагованої сировини.

Останні дослідження [5] показали, що на параметри процесу каталітичного окиснення циклогексану істотно впливають кисне- та азотвмісні сполуки, які в малих кількостях з каталіза-

тором здатні регулювати селективність продуктів за рахунок утворення проміжних комплексів чи асоціатів. Застосування каталітичних систем, які поряд із нафтенатом кобальту (НК) містять кисневмісні добавки різної природи, є ефективним способом впливу на швидкість та селективність процесів окиснення вуглеводнів різних класів [6, 7]. Результати виконаних досліджень відкривають широкі можливості цілеспрямованого створення нових перспективних каталітичних та ініціувальних систем для процесів окиснення [8, 9].

Одним із напрямів вирішення цієї проблеми є пошук нових ефективних каталітичних систем. Хромоксан, який є ефективною перфторованою поверхнево-активною речовиною із властивостями гідро- та олеофобізації [10], понижує поверхневий натяг на границі вуглеводневої фази та повітря чи кисню, тому його можна розглядати як каталізатор процесу окиснення ЦГ. Дослідження механізму дії таких каталізаторів та кінетичних закономірностей утворення продуктів реакції за участі цих каталізаторів дасть змогу підвищити техніко-економічні показники процесу окиснення. Отже, проблема створення ефективних каталізаторів з використанням хромоксану для

процесу окиснення циклогексану залишається надзвичайно актуальною.

**Мета дослідження.** Дослідження різних технологічних параметрів використання хромоксану в процесі окиснення циклогексану та їх впливу на основні показники цього процесу.

#### Матеріали та методи досліджень

Для здійснення досліджень брали такі хімічні матеріали: хромоксан (ТУ 6-00-0209321-26-89) виробництва Бориславського НДІ "Синтез", циклогексан (ГОСТ 14198-78) і нафтенат кобальту (ТУ 6-09-1024-76), які використовували на виробництві адипінової кислоти ВАТ "РівнеАзот". Крім промислового нафтенату кобальту, використано незначні кількості інших солей металів змінної валентності, таких як нафтенат марганцю, стеарати міді, нікелю та церію.

Для приготування реакційної суміші брали 100 см<sup>3</sup> циклогексану та каталізатор, для якого на різних етапах досліджень використовували хромоксан, солі металів змінної валентності, а також бінарні системи: солі металів змінної валентності – хромоксан. Концентрація каталізатора в реакційному середовищі становила 10<sup>-4</sup> моль/л. Окисником був технічний кисень.

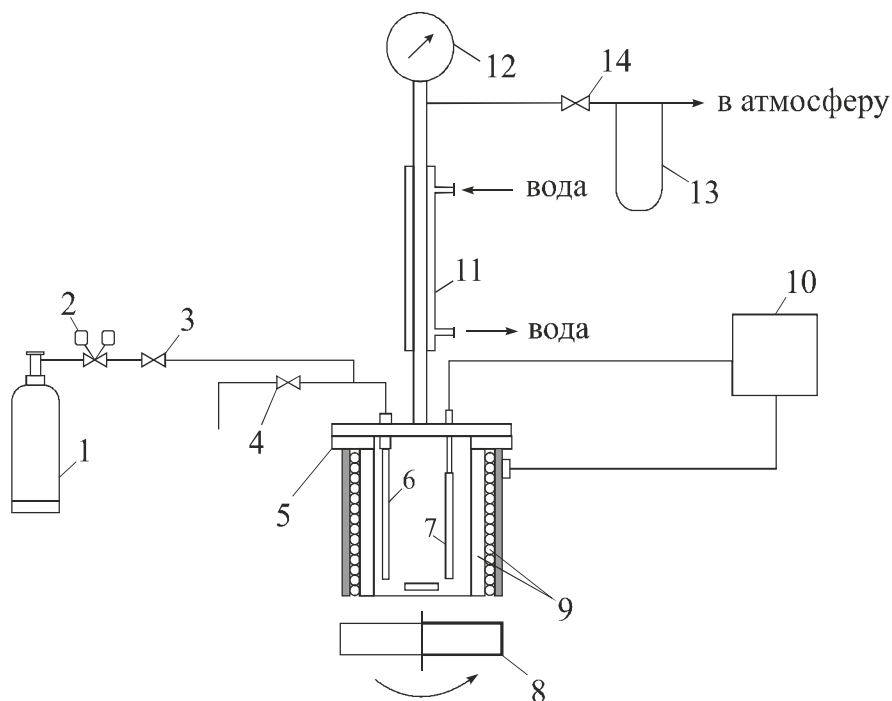


Рис. 1. Автоклавна установка для окиснення циклогексану. 1 – балон із киснем; 2 – редуктор; 3, 4, 14 – вентиля; 5 – реактор для окиснення циклогексану; 6 – теплопара; 7 – капіляр для подавання кисню; 8 – магнітна мішалка; 9 – масляна сорочка та електричний нагрівач; 10 – контрольно-вимірювальний пристрій ОВЕН ТРМ-1; 11 – кожухотрубний теплообмінник; 12 – манометр; 13 – дифманометр для вимірювання витрати кисню

Дослідження виконано на лабораторній установці окиснення циклогексану, реактор для окиснення якої експлуатувався за високих температур і тисків та виготовлений із неіржавіючої сталі Х18Н9Т. Схему експериментальної лабораторної установки наведено на рис. 1.

Установка працює так: технічний кисень з балона 1 через редуктор 2 і вентиль 3 надходить у реактор 5. В реактор попередньо завантажують циклогексан. Починається нагрівання за допомогою електричного нагрівача 9. Після досягнення в реакторі необхідних технологічних параметрів, а це: температура – 413 К, тиск – 1,0 МПа, у групі дослідів із визначення впливу температури на процес окиснення, крім 413 К, встановлювали ще два значення температур: 403 та 423 К. Стабільний температурний режим підтримує силіконова олива, що міститься у кожуху реактора. Реакційна суміш перемішується магнітною мішалкою 8, а також за допомогою інтенсивного барботування кисню через капіляр 6.

Температуру в реакторі вимірюється хромель-копелевою термопарою ХК-68 (Україна) 7 та реєструється контрольно-вимірювальним пристроєм ОВЕН ТРМ-1 (Україна) 10. Тиск у системі вимірюється манометром 12, а витрата газу на виході з неї – дифманометром 13. Для конденсації пари призначений зворотний кожухотрубний холодильник 11 з водяним охолодженням. Пробу на аналіз беруть, коли відкритий вентиль 4 та закритий вентиль 3.

Протягом процесу періодично брали проби й аналізували їх на концентрації основних продуктів рідиннофазного каталітичного окиснення циклогексану: гідропероксиду циклогексилу (ГПЦГ), циклогексанолу (ЦОЛ), циклогексанону (ЦОН), кислот, які містили здебільшого адипінову кислоту (АК), та естери з переважним вмістом дициклогексиладипінату.

Аналіз цільових продуктів ЦОЛу та ЦОНу виконували на хроматографі ЛХМ-80 із детектором за теплопровідністю. Колонку із неіржавіючої сталі, довжина якої 2 м і діаметр 3 мм, заповнювали насадкою, яка містила 10 % поліетиленглікольсебацінату, нанесеного на Chromaton N-AW [11,12]. Концентрацію ЦОЛ і ЦОН визначали методом абсолютного калібрування, а концентрацію ГПЦГ йодометричним методом [11].

Вміст карбонових кислот, серед яких основне місце займає адипінова кислота (95–97 %), доцільніше визначати титриметрично, тому що у разі встановлення їх концентрації за допомогою газохроматографічного аналізу похибка є вищою. Концентрацію кислот у перерахунку на АК визначали за методикою, описаною у [11].

Середній естер (дициклогексиладипінат) добре розчинний у циклогексані, тому під час окиснення накопичується в органічному шарі. Кислий естер у циклогексані розчиняється значно гірше, тому його основна кількість міститься у водно-кислотному шарі. Вміст ДЦА перевищує 95 % загальної кількості естерів. ДЦА аналізували зворотним титруванням за методикою, описаною в [11].

Концентрації побічних продуктів окиснення циклогексану (зокрема СО, СО<sub>2</sub>, нижчих дикарбонових та монокарбонових кислот, циклогексилформіату) не перевищували похибки аналізу і тому їх не визначали.

#### Результати досліджень та їх обговорення

На першому етапі досліджень окиснення ЦГ здійснювали в присутності хромоксану, концентрація якого в реакційній суміші становила 1 % мас. Цю концентрацію каталізатора вибрали, здійснивши пробні досліди із окиснення ЦГ, для яких хромоксан брали в кількості від 0,5 до 2,0 % мас. Результати такого дослідження показали, що із підвищенням концентрації каталізатора до 1 % мас. швидкість окиснення зростає, після чого подальше збільшення цієї концентрації практично не впливає на процес окиснення.

Досліди із окиснення ЦГ виконували за трьох температур: 403, 413 та 423 К. За  $T = 403$  К швидкість окиснення була дуже малою і тому цей варіант надалі не розглядали. За  $T = 423$  К окиснення відбувається швидше, але істотно зростає утворення та накопичення кислот у реакційній суміші, що призводить до зниження селективності цільових продуктів (табл. 1). Оптимальна температура для окиснення ЦГ в присутності хромоксану – 413 К. За цієї температури зростання конверсії сировини до 3 % мол. не призводить до посиленого утворення кислот і селективність продуктів залишається на рівні 71 % мол. Крім цього, важливим підсумком цього дослідження є те, що активувальна дія хромоксану проявляється тільки після накопичення в оксидаті певної кількості

кості кисневмісних сполук, коли конверсія сировини перевищує 1 % мол. До моменту накопичення кисневмісних сполук швидкість окиснення невелика, спостерігається так званий індукційний період.

Для скорочення індукційного періоду та збільшення швидкості виродженого розвитку ланцюга за теорією радикально-ланцюгової теорії окиснення ЦГ застосували добавки ЦОЛу та ЦОНу до реакційної суміші. Для цього в реактор перед початком дослідів до сировини вносились ЦОЛ та ЦОН в кількості 0,1 моль/л. Дослідження показало, що додавання ЦОЛу та ЦОНу спричинило зростання конверсії сировини в присутності хромоксану, а індукційний період суттєво скоротився (табл. 1). Добавки ЦОНу ефективніше впливали на зростання конверсії, але селективність цільових продуктів у такому разі не підтримувалась на достатньому рівні. Добавки ЦОЛу до реакційної суміші позитивно впливали на збільшення конверсії, а селективність за цільовими продуктами процесу не опускалась нижче за 80,3 % мол. Отже, оптимальними умовами ведення окиснення ЦГ в присутності хромоксану є: концентрація каталізатора в реакційній суміші – 1 % мас., температура здійснення процесу – 413 К, добавки 0,1 моль/л ЦОЛу до реакційної суміші.

Проте потрібно зазначити, що конверсія сировини окиснення ЦГ під дією хромоксану досягала значення 8,7 % мол. лише на 120-й хвилині дослідів. Швидкість ж окиснення ЦГ під дією солей металів змінної валентності є вищою і відповідне значення конверсії досягається швидше.

На другому етапі досліджень хромоксан використовували у складі бінарної каталітичної системи із різноманітними солями металів змінної валентності, визначаючи їх сумісний вплив на процес окиснення циклогексану. Для цього брали нафтенат кобальту і марганцю, а також стеарати міді, нікелю та церію та з добавками до них хромоксану створювали бінарні системи, які були каталізаторами окиснення ЦГ. Виконували дві групи дослідів: у присутності індивідуальних СМЗВ та під дією бінарних сумішей зі співвідношенням компонентів [СМЗВ]/[хромоксан] як 10/1.

Результати дослідів показали (табл. 2), що тільки наявність бінарної каталітичної системи на основі нафтенату кобальту або стеарату церію з добавкою хромоксану спричиняє збільшення швидкості окиснення циклогексану. Якщо розглядати зміну селективності за цільовими продуктами в присутності СМЗВ та хромоксану, то тільки бінарні каталітичні системи на основі солей кобальту і церію ведуть до зростання названого параметра. Крім того, під час окиснення ЦГ в присутності стеарату церію з добавкою хромоксану істотно зростають селективності утворення ГПЦГ і кислот, незначно збільшуються селективності утворення ЦОЛу та ЦОНу (18,8 і 13,7 % відповідно), а утворення ефірів зменшується порівняно з окисненням на чистому стеараті церію. Необхідно зазначити, що хоч збільшення вмісту гідропероксиду у цьому випадку позитивне, однак через вибухонебезпечність цього продукту знижує безпеку ведення процесу.

Підсумкові результати експериментів наведено в табл. 2.

Таблиця 1

**Склад продуктів окиснення циклогексану в присутності хромоксану**  
**T = 403–423 К, P = 1 МПа, [кат.] = 1 % мас., добавки [ЦОЛ] чи [ЦОН] = 0,1 моль/л**

Добавка до реакційної суміші	T, К	$\tau$ , хв	Селективність, % мол.					K, % мол.	S <sub>пр</sub> , % мол.
			ГПЦГ	К-ти	Естери	ЦОН	ЦОЛ		
–	403	150	17,2	13,8	1,8	33,7	30,1	0,3	81,0
–	413	60	14,5	18,1	2,0	33,7	33,7	0,4	81,9
–	413	120	3,7	21,0	8,1	29,9	37,3	2,9	70,9
–	423	60	6,1	36,0	3,6	25,6	28,7	1,8	60,4
ЦОЛ	413	60	5,6	15,7	4,0	10,0	64,7	2,7	80,3
ЦОЛ	413	120	19,8	12,5	5,8	24,0	37,9	4,6	81,7
ЦОН	413	60	20,6	7,2	11,7	46,6	13,9	3,3	81,1
ЦОН	413	120	18,6	17,9	8,1	28,8	26,6	8,7	74,0

**Склад продуктів окиснення циклогексану в присутності хромоксану і солей різних металів змінної валентності  $T = 413 \text{ K}$ ,  $P = 1 \text{ Мпа}$ ,  $[\text{кат.}] = 5 \times 10^{-4} \text{ моль/л}$ ,  $[\text{СМЗВ}]/[\text{Хромоксан}] = 10/1$**

Каталізатор		$\tau$ , хв	Селективність, % мол.					$K$ , % мол.	$S_{\text{цп}}$ , % мол.
Осн. комп.	Добавка		ГПЦГ	К-ти	Естери	ЦОН	ЦОЛ		
CoNaf <sub>2</sub>	–	30	10,2	13,8	2,0	24,2	49,8	4,6	83,2
CoNaf <sub>2</sub>	Хромоксан	30	5,5	9,7	8,1	32,5	44,2	5,4	82,2
MnNaf <sub>2</sub>	–	60	27,6	5,4	10,1	21,7	35,2	4,0	84,5
MnNaf <sub>2</sub>	Хромоксан	80	36,5	9,4	13,2	15,7	25,2	3,4	77,4
CuSt <sub>2</sub>	–	90	43,0	6,5	23,3	13,0	14,2	4,2	70,2
CuSt <sub>2</sub>	Хромоксан	90	52,3	5,2	18,1	13,9	10,5	3,1	76,7
NiSt <sub>2</sub>	–	120	21,7	13,4	19,8	19,5	25,6	4,4	66,8
NiSt <sub>2</sub>	Хромоксан	120	46,0	7,8	11,2	15,5	19,5	4,2	81,0
CeSt <sub>3</sub>	–	65	28,4	4,0	44,2	9,9	13,5	4,0	51,8
CeSt <sub>3</sub>	Хромоксан	90	36,6	11,1	19,8	13,7	18,8	4,5	69,1

Під час окиснення ЦГ під впливом нафтенату кобальту і хромоксану зменшуються селективності утворення гідропероксиду і кислот, збільшуються селективності утворення бажаних ЦОЛу та ЦОНу, а також небажаних ефірів, порівняно з окисненням без хромоксану. З цієї причини може становити практичний інтерес ця бінарна каталітична система: нафтенат кобальту – хромоксан.

Добавка хромоксану до інших металів змінної валентності інгібує окиснення ЦГ.

Отже, кобальт є необхідною складовою частиною каталітичних систем для процесу окиснення циклогексану. Для повного аналізу ефективності каталітичної дії бінарної системи: нафтенат кобальту – хромоксан наведемо результати повного циклу окиснення ЦГ у присутності цієї системи (табл. 3).

Наведені дані свідчать про те, що для показників окиснення ЦГ в присутності бінарного каталізатора: нафтенату кобальту – хромоксану характерне збільшення швидкості окиснення,

зростання селективності утворення ефірів і зменшення селективності утворення ГПЦГ та кислот. Селективність окиснення циклогексану за цільовими продуктами у разі здійснення процесу в присутності бінарних каталітичних систем становить 70–80 % (на 50-й хв досліду), причому зберігається на цьому рівні до конверсії ЦГ 10,4 %, тоді як у випадку окиснення в присутності нафтенату кобальту за конверсії понад 5 % різко зменшується селективність процесу за цільовими продуктами і досягає 58 %.

Як показали результати дослідів, бінарна система: НК – хромоксан є ефективним каталізатором окиснення ЦГ, у присутності якого селективність за цільовими продуктами не зменшується нижче, ніж до 73,9 % мол. і це значення підтримується до конверсії 12 % мол. Також потрібно зауважити, що на 30-й хвилині реакції відмічається максимум, за якого конверсія сировини підвищується до 6,3 %, водночас зберігається найвище значення селективності за цільовими продуктами – 82,1 % мол.

**Склад продуктів окиснення циклогексану в присутності нафтенату кобальту і хромоксану  $T = 413 \text{ K}$ ,  $P = 1 \text{ МПа}$ ,  $[\text{кат.}] = 5 \times 10^{-4} \text{ моль/л}$ ,  $[\text{НК}]/[\text{хромоксан}] = 10/1$**

Каталізатор		$\tau$ , хв	Селективність, % мол.					$K$ , % мол.	$S_{\text{цп}}$ , %
Осн. комп.	Добавка		ГПЦГ	К-ти	Ефіри	ЦОН	ЦОЛ		
CoNaf <sub>2</sub>	Хромоксан	10	31,5	5,9	18,5	14,8	29,6	1,5	75,5
CoNaf <sub>2</sub>	Хромоксан	20	15,7	9,6	12,0	22,1	40,6	4,8	78,4
CoNaf <sub>2</sub>	Хромоксан	30	4,3	9,9	8,1	30,0	47,8	6,3	82,1
CoNaf <sub>2</sub>	Хромоксан	40	5,0	10,7	12,3	29,0	42,9	7,9	76,9
CoNaf <sub>2</sub>	Хромоксан	50	6,5	9,2	11,2	31,3	41,7	10,4	79,5
CoNaf <sub>2</sub>	Хромоксан	60	8,3	10,2	15,9	27,5	38,1	12,1	73,9

Для порівняння можна навести такі цифри: конверсія сировини у разі окиснення ЦГ у присутності нафтенату кобальту на 60-й хвилині виконання досліду ледь досягає 5,6 %, водночас селективність за цільовими продуктами зменшується до 49,0 %.

### Висновки

Хромоксан (перфтор-4-метил-3,6-діоксаксансульфонат калію) може використовуватись в процесі окиснення циклогексану і як індивідуальний каталізатор, і в складі бінарної каталітичної системи.

Досліджено, що оптимальними умовами окиснення циклогексану в присутності хромоксану є: концентрація каталізатора в реакційній суміші – 1 % мас., температура здійснення процесу – 413 К. Встановлено, що активна каталітична дія індивідуального хромоксану під час окиснення циклогексану проявляється тільки після накопичення у реакційній суміші певної кількості кисневмісних сполук, коли конверсія сировини перевищує 1 %. Додатки циклогексанолу та, особливо, циклогексанолу в реакційну суміш під час окиснення позитивно впливають на зростання конверсії сировини, тоді як селективність за цільовими продуктами процесу підтримується на рівні 80–82 % мол.

З-поміж органічних солей різних металів змінної валентності для використання у складі бінарних каталітичних систем з хромоксаном практичний інтерес може становити нафтенат кобальту. Під час окиснення циклогексану в присутності бінарної каталітичної системи: нафтенат кобальту – хромоксан зростає до 12 % мол. конверсія сировини, а селективність за цільовими продуктами залишається не нижчою за 73,9 % мол.

### References

1. Howells, R. D., Mc Cown, J. D. (1977). *Chem. Revs.*, Vol. 77, No. I, 69–92 (in USA).
2. Kuznetsov, Eh. A., Rjabinin, V. B., Sokolov, S. A., Krinzberg, Ts. Z. (1998). Solution for chemical deposition of composition nickel coatings. RU patent 2 108 416, 95118631/02. Otkrytoe aktsionnoe obshchestvo "GAZ".

3. Reutsky, V. V., Starchevskij V. L. (2013). Intensyfikacija processu gomogenogo okysnenja etylbenzolu. *Shidno-evropejskij zurnal peredovykh tehnologij*, No. 2/6 (62), 24–28 (in Ukrainian).

4. Ivashchuk, O., Reutsky, S. Mudryy, O. Zaichenko, N. Mitina (2012). Cyclohexane oxidation in the presence of variable valency metals chelates. *Chemistry & Chemical Technology*, Vol. 6, No. 3, 339–343 (in Ukrainian).

5. Ludyn, A. M., Reutsky, V. V. (2016). Vplyv amiokyslot na process okysnenja cyklogeksanu. *Visnyk NULP. Khimiya, tehnologija rechovyn I ich zastosuvannya*, No. 841, 108–113 (in Ukrainian).

6. Ludyn, A. Reutsky, V., Reutsky, Vol. (2019). Creating The Basis Of Non-exhaustive Technology Of Cyclohexan Oxidation. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, Vol. 2, No. 2, 91–96 (in Ukrainian).

7. Więckol-Ryk, A., Białecka, B., & Thomas, M. (2020). Effect of green oxidizing agent on inhibition of *Escherichia coli* present in livestock wastes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231 (9), 466–481. DOI: 10.1007/s11270-020-04824-3.

8. Christopher, R. Riley, E. Nancy Montgomery, N. Nada Megally, A. Jessica Gunn, L. Shannon D. (2012). Oxidation of Cyclohexane by Transition Metal Oxides on Zeolites. *The Open Catalysis Journal*, Vol. 3, 8–13. DOI: org/10.2174/1876214X01205010008.

9. Hossain, M. Zabeed, Golam, Faruq, Jaya, Narayan, Sahu and all (2014). Bioethanol Production from Fermentable Sugar Juice March. *The Scientific World Journal*, 31, 66–68. DOI: 10.1155/2014/957102.

10. Enhua Yao, Wenhua Yao, Yongjuan Chen, Liang Min, Hua Fang, Zhiyin Yan, Honglin Wang (2006). Liquid oxidation of cyclohexane to cyclohexanol over cerium-doped. *Journal of Molecular Catalysis: A*, Vol. 246, Is. 1–2. 162–166.

11. Reutsky, V. V. (1988). *Katalitychne okyslenya cyclohexany v akustychnomy poli*: kand. dis. Lvivskij politechnichnyj instytut. Lviv (in Ukrainian).

12. Zhang, B.-T., Kuang, L., Teng, Y., Fan, M., & Ma, Y. (2021). Application of percarbonate and peroxy-monocarbonate in decontamination technologies. *Journal of Environmental Sciences*, 105, 100–115. DOI: 10.1016/j.jes.2020.12.031.

13. Shapoval, P., Sozans'kyy, M., & Yatchyshyn, Y. (2015). Syntez I vlastyvoli plivok tsynksul'fidu (ZnS), otrymanykh z vykorystannyam kompleksoutvoryuvacha natriyhidroksydu. *Visnyk Natsional'noho Universytetu "Lvivs'ka Politehnika"*. Seriya: Khimiya, tekhnolohiya rechovyn ta yikh zastosuvannya, 812, 43–47 (in Ukrainian).

*A. M. Лудин, В. В. Реутський*

**A. M. Ludyn, V. V. Reutsky**  
Lviv Polytechnic National University,  
Department of Organic Products Technology

#### **USE OF CHROMOXANE IN THE OXIDATION OF CYCLOHEXANE**

**Ways of using chromoxane in the process of cyclohexane oxidation are considered. Various technological parameters of chromoxane use in the process of cyclohexane oxidation and their influence on the main indicators of this process have been studied. The combined effect of chromoxane in binary systems with different salts of metals of variable valence on their catalytic activity in the oxidation of cyclohexane was determined.**

**Key words: chromoxane; cyclohexane; oxidation; raw material conversion; selectivity for target products; catalyst; cobalt naphthenate.**