

УДК 665.64.097.3

**КАТАЛІТИЧНИЙ КРЕКІНГ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЮ НА  $ZrO_2-SiO_2$  КАТАЛІЗАТОРІ (ЛАБОРАТОРНИЙ ЗРАЗОК А-69-1) В УМОВАХ АЕРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛІЗУ****Кудрявцев С. О., Філіпс Т. Ч.****CATALYTIC CRACKING OF VACCUM GAS OIL USING  $ZrO_2-SiO_2$  CATALYST (LABORATORY SAMPLE A-69-1) UNDER CONDITIONS OF AEROSOL NANOCATALYSIS****Kudryavtsev S. A., Philips T. C.**

*В статті наведені результати експериментальних досліджень для процесу каталітичного крекінгу вакуумного газойлю в умовах технології аерозольного нанокаталізу з використанням нового зразку  $ZrO_2-SiO_2$  каталізатору. Встановлені залежності швидкості реакції та виходу основних продуктів крекінгу від температури та інтенсивності механохімічної активації каталізатору. Показано, що найбільш ефективною механохімічна активація є за низьких температур (до  $400^\circ C$ ), коли зміненням частоти коливань каталітичної системи можливо досягти збільшення швидкості реакції в 4,7 рази. Показано, що механохімічна активація також впливає і на селективність реакцій крекінгу та здатна підвищити її з 70-80% до 99% за світлими нафтопродуктами.*

**Ключові слова:** аерозольний нанокаталіз, каталітичний крекінг, вакуумний газойль, дизельне паливо.

**1. Вступ.** Каталізатори на основі оксиду цирконію розроблені в Інституті сорбції та проблем ендоекології НАН України з метою підвищення виходу бензину на промислових установках каталітичного крекінгу вакуумного газойлю. Серія каталізаторів, що відрізняються питомою поверхнею, розміром пор, співвідношенням  $ZrO_2:SiO_2$  та способом приготування, використовувалась, крім стандартних методик дослідження, також для досліджень процесу крекінгу за допомогою технології аерозольного нанокаталізу (AnC).

Безперервна механохімічна активація (МХА) каталізатору, що є унікальною особливістю технології AnC, призводить до генерації в реакційному просторі каталітично активних наночастинок розмірами від 8 до 100 нм [1], які здатні збільшити швидкість хімічної реакції до  $10^6$  разів в розрахунку на масу каталізатору. Лабораторні дослідження та розрахунки показали, що промисловий процес каталітичного крекінгу з використанням технології аерозольного нанокаталізу можна організувати в реакторі обсягом в 2-10 разів меншим за промислові реактори з гетерогенним каталізатором, а

обсяг регенератору можливо зменшити майже в 1,5 тисячі разів [2]. Також в технології AnC шляхом варіювання інтенсивності МХА можливо змінювати селективність реакцій і підвищувати вихід продуктів – світлих моторних палив. Тому пошук каталізатору, що здатен в умовах AnC забезпечити високі швидкості реакції і селективність за відносно низької температури, є актуальною науковою задачею з перспективою застосування в масштабі дослідно-промислової установки. Перспективними в цьому напрямі вважаються каталізатори на основі оксиду цирконію.

**2. Аналіз публікацій за темою досліджень.** Перші експериментальні дослідження крекінгу вакуумного газойлю за технологією AnC показали, що навіть  $Al_2O_3$ , який в традиційному гетерогенному каталізі не є каталітично активним для крекінгу вуглеводнів, а лише входить до складу алюмосилікатної матриці і цеоліту, в умовах МХА показує зростання швидкості та порівняно високу селективність за бензином і дизельним паливом.

Подальші експерименти встановили, що прості цеоліти (CaA, NaX, тип Y) [3-5] в умовах безперервної МХА in situ здатні значно підвищити швидкість реакції крекінгу та зменшити температуру процесу, навіть в порівнянні із промисловим флюїд-процесом крекінгу на сучасному багатофункціональному каталізаторі Nexus-345 зр. Використання Nexus-345 зр (а також його індивідуальних компонентів) в умовах AnC дозволяє підвищити вихід світлих нафтопродуктів в 1,14 рази та збільшити швидкість реакції (в розрахунку на об'єм реактору) майже в 2,5 рази [6].

Першим дослідженим каталізатором на основі оксиду цирконію став лабораторний зразок Л-76 (наданий проф. Бресем В.В., Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України), що має наступні характеристики: питома поверхня  $330 \text{ м}^2/\text{г}$ ; середній діаметр пор 5,3 нм. Подрібнення його до нанорозмірів та використання в вигляді аерозолі наночасток дозволило здійснити процес із промислово вигідним виходом при температурі на  $200-230^\circ C$  менше за

показники сучасних промислових установок каталітичного крекінгу. Для цього зразку каталізатора вдалось встановити такий режим МХА каталітичної системи [7], коли максимальний вихід бензинової та дизельної фракцій склав 74%, а в продуктах реакції вміст вуглеводнів  $C_1-C_4$  становив менше 1% мас., що свідчить про селективність процесу за цільовим продуктами вище за 99%.

На наступному етапі досліджувались модифікації  $ZrO_2/SiO_2$  – каталізатору (лабораторні зразки Л–186 та А–7), які відрізнялись способом приготування та кислотністю. Отримані результати підтвердили можливість проведення процесу крекінгу за температури  $300^\circ C$  з промислово доцільною швидкістю реакцію, з переважним виходом дизельної фракції та з мінімальною кількістю побічних газоподібних продуктів.

Особливістю каталітичного крекінгу вакуумного газойлю для оксид цирконієвих каталізаторів в умовах  $AnC$  є надзвичайно високий вихід дизельної фракції (ДФ) з інтервалом кипіння  $180-350^\circ C$ , в той час як випробовування в умовах гетерогенного каталізу на стандартній установці МАК-2М показує переважне утворення бензинової фракції (БФ) п.к.– $180^\circ C$  та вуглеводнів  $C_1-C_4$ .

Доцільним є вивчення кінетичних закономірностей ще для ряду зразків  $ZrO_2/SiO_2$  – каталізатору в умовах аерозольного нанокаталізу з метою встановлення відмінностей в механізмі крекінгу в умовах традиційного гетерогенного каталізу і  $AnC$ , а також, для пошуку оптимального оксид цирконієвого каталізатору для технології  $AnC$ .

**3. Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є пошук оптимальних умов процесу каталітичного крекінгу для нової модифікації  $ZrO_2/SiO_2$  – каталізатору (лабораторний зразок А–69–1) з використанням технології  $AnC$ .

Завдання дослідження:

- визначення температурного інтервалу, в якому буде найбільш ефективним вплив МХА на швидкість реакцій крекінгу нового лабораторного зразку (А–69–1)  $ZrO_2/SiO_2$  – каталізатору;
- визначення впливу температури на ефективність механохімічної активації та на склад продуктів крекінгу;
- визначення впливу температури та частоти МХА на селективність утворення світглих нафтопродуктів – бензинової та дизельної фракцій;
- визначення впливу технологічних чинників на октанове число бензинової фракції та встановлення можливості змінення ОЧ шляхом змінення специфічних параметрів аерозольного нанокаталізу.

**4. Методологія експериментальних досліджень та аналітичного контролю продуктів реакції.**

Лабораторна установка для проведення процесу крекінгу вакуумного газойлю аерозольним нанокаталізом не відрізняється від модифікації, що наведена в роботах [1, 2], та складається з реакційного блоку, вузла для дозування сировини і

блоку для збирання продуктів реакції і відбирання проби на аналіз.

Особливістю експериментальної роботи є попереднє приготування каталітичної системи. Експериментально встановлено, що каталітично активний матеріал сорбується на поверхні диспергуючого матеріалу при роботі реактора [1, 2]. Тому перед початком експерименту проводиться «запилення» диспергуючого матеріалу до насичення його поверхні. Наважка каталітично активного компоненту додається до диспергуючого матеріалу. Запилення проводиться при робочій температурі і частоті МХА доти, поки наважка каталітично активного матеріалу не перестане змінюватись після вивантаження каталітичної системи з реактору і відділення диспергуючого матеріалу. Незмінність маси свідчить про те, що пройшло повне насичення поверхні і весь внесений каталітично активний компонент буде піддаватись МХА і буде знаходитись в виді аерозолю. Саме з цієї маси відбувається генерування наночастинок каталізатору *in situ*.

Аналіз рідких продуктів крекінгу здійснюється шляхом розгонки на апараті ULAB-1-42A (рис. 1).

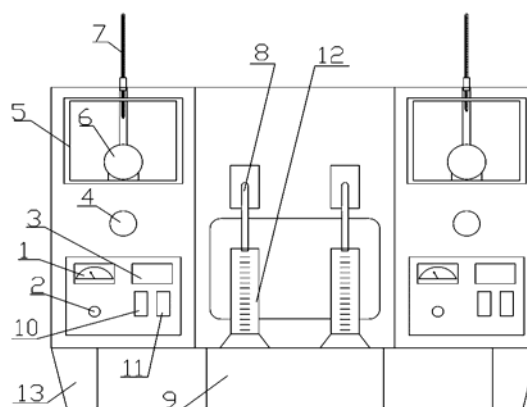


Рис. 1. Апарат для розгонки нафтопродуктів ULAB-1-42A:

1 – вольтметр; 2 – регулятор напруги; 3 – температурний контролер; 4 – регулятор вертикального положення; 5 – оглядове вікно; 6 – колба Енглера; 7 – термометр; 8 – трубка конденсатора; 9 – підставка; 10 – вмикач охолоджувача; 11 вмикач контролера температури; 12 – вимірювальний циліндр; 13 – лапи

Рідкі продукти крекінгу поміщуються в колбу Енглера (6) та встановлюються в апарат для розгонки. Потім в роботу підключається охолоджувач (10) та вмикається контролер температури (3). Після того, як температура контролера та завдана температура співпадуть, починають подавати напругу на нагрівач за допомогою регулятора (2). При нагріванні продукти крекінгу починають кипіти та поступають в конденсатор, що знаходиться в корпусі апарату для розгонки. Рідкі продукти після конденсатора стікають по трубці (8) в вимірювальний циліндр (12). Розгонка нафтопродуктів проводилась згідно [8]. Визначався вихід бензинової фракції ( $t_{кип} = 35-180^\circ C$ ) і дизельної фракції ( $t_{кип} = 180-350^\circ C$ ), а також важкого залишку ( $t_{кип} > 350^\circ C$ ).

Для аналітичного визначення складу газоподібних продуктів реакції використовували хроматографи ЛХМ-8, ЦВЕТ-500 (етилен і водень визначались із точністю 0,01% об.). Склад та октанове число бензинової фракції (дослідницький метод) визначались на хроматографі «КРИСТАЛЛ-5000».

Маса рідких нафтопродуктів визначається після вимірювання об'єму фракції та знаходження її щільності пікнометричним методом:

$$m_{фр} = \rho_{фр} \cdot V_{заг} \quad (1)$$

$\rho_{фр}$  – густина фракції, г/мл;

$V_{заг}$  – загальний об'єм фракції, мл.

Об'єм газоподібних продуктів визначався після визначення об'ємної частки кожного компоненту в газовій суміші хроматографічним методом:

$$V_{речовин} = x_{речовин} \cdot V_{заг.г.фр.} \quad (2)$$

$x_{речовин}$  – вміст речовини в газовій фазі, %об.;

$V_{заг.г.фр.}$  – загальний об'єм газової фракції, л;

Маса коксу визначалась шляхом зважування каталітичної системи після проведення експерименту за формулою:

$$m_{коксу} = m_2 - m_1 \quad (3)$$

$m_2$  – маса каталітичної системи після експерименту, г;

$m_1$  – маса каталітичної системи до експерименту, г;

Масовий вихід кожної вуглеводневої фракції визначався за формулою:

$$X = \frac{m_{фракції}}{m_{сировини}} \cdot 100\% \quad (4)$$

$m_{фракції}$  – маса фракції, що утворилась в результаті експерименту, г;

$m_{сировини}$  – маса вакуумного газойлю, який було витрачено на експеримент, г.

Селективність реакцій за світлими нафтопродуктами визначалась за формулою:

$$\Phi = \frac{m_{б.фр+д.фр}}{m_{перетв.сиров}} \cdot 100\% \quad (5)$$

$m_{б.фр+д.фр}$  – маси бензинової та дизельної фракцій відповідно, г;

$m_{перетв.сиров}$  – маса перетвореної сировини (маса всіх продуктів реакції за виключенням важкого залишку), г.

Для визначення кінетики крекінгу нафтових фракцій можна використовувати формулу для розрахунку швидкості реакції за компонентом (за бензином або за іншим важливим продуктом).

$$W_{комн} = k \cdot C_{сиров} = k_0 \cdot C_{сиров} \cdot e^{\frac{-E}{RT}} \quad (6)$$

$C_{сиров}$  – умовна концентрація сировини в реакторі, кг;

$k$  – константа швидкості для утворення даного компонента,  $c^{-1}$ ;

$k_0$  – передекспоненційний коефіцієнт.

За умови включення до кінетичного рівняння параметрів технології аерозольного нанокаталізу формула набуває вигляду:

$$W_{комн} = k \cdot C_{сиров} \cdot k_B = k_0 \cdot k_B \cdot C_{сиров} \cdot e^{\frac{-E}{RT}} \quad (7)$$

$k_B$  – параметр вібрації, що залежить від частоти (f), амплітуди (h) та ін. у вигляді  $k_B = k \cdot f^n \cdot h^m$ .

Визначивши експериментально швидкість утворення речовини або фракції та знаючи концентрацію сировини в реакторі можна визначити константу швидкості реакції. Це дозволить в майбутньому промислового реакторі розрахувати час контакту для заданого ступеню конверсії сировини. Час контакту є параметром для оцінювання габаритів реактору аерозольного нанокаталізу та для порівняння з промисловими технологіями.

Продуктивність – кількість речовини, що утворюється за одиницю часу – можна віднести до маси каталізатору або до об'єму реактору.

$$П_1 = \frac{m_{речов}}{\tau \cdot V_{p-pa}} \quad (8)$$

$m_{речов}$  – маса речовини або фракції, кг ;

$V_{p-pa}$  – об'єм реактора,  $m^3$ ;

$\tau$  – тривалість експерименту, годин;

$$П_1 = \frac{m_{речов}}{\tau \cdot m_{КАТ}}$$

$m_{КАТ}$  – маса каталізатору в реакторі, кг.

Питома продуктивність дає можливість порівняти різні технології та апаратуру для виробництва ідентичних продуктів.

**5. Експериментальна частина.** Умови проведення експерименту, результати аналізу продуктів та розрахункові характеристики процесу каталітичного крекінгу вакуумного газойлю в умовах аерозольного нанокаталізу наведені в таблиці.

Експерименти, що проведені в дослідженому інтервалі частот МХА та температур, показали, що специфічні параметри технології аерозольного нанокаталізу впливають на кінетичні закономірності процесу не менше, чим основні технологічні чинники. Наприклад, застосування інтенсивності МХА в  $4 \text{ c}^{-1}$  дозволило досягти ступеню перетворення сировини в 76,4% мас. (рядок 6, стовбець 10 в таблиці) за температури всього  $300^{\circ}\text{C}$ , що в 1,7 рази більше, ніж в цих же умовах за температури  $450^{\circ}\text{C}$  (строчка 3, стовбець 10 в таблиці).

Таблиця

**Результати експериментальних досліджень крекінгу вакуумного газойлю в умовах аерозольного нанокаталізу на  $ZrO_2-SiO_2$  каталізаторі (лабораторний зразок А-69-1).**

Об'єм реактору 40 мл, кількість диспергуючого матеріалу 20 мл, амплітуда МХА 14 мм, концентрація каталізатору 2,38 г/м<sup>3</sup> реактору

№	t, (°C)	f, Гц	Вихід продуктів, % мас.				Ф <sub>св.нп.</sub> , %	Х <sub>св.нп.</sub> , %	Х, %	Октанове число		П <sub>1</sub> (кг/м <sup>3</sup> р-ра*ГОД)	П <sub>2</sub> (кг/кг <sub>к-ра</sub> *ГОД)	k, с <sup>-1</sup>	E, (кДж/моль)
			Газ	БФ (п.к.-180°C)	ДФ (180-350°C)	Кокс				ДМ	ММ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	550	4	7,0	10,4	21,6	0,2	81,7	32,0	39,1	92	71	500	190114	0,056	98
2	500		2,8	16,8	23,4	0,2	93,0	40,2	43,2	90	90	628	239032	0,065	
3	450		1,5	9,3	34,4	0,1	96,6	43,7	45,2	86	86	683	259878	0,061	86
4	400		-	11,4	27,4	0,1	99,8	38,7	38,8	89	68	605	230346	0,028	
5	350		-	8,1	16,2	1,3	95,1	24,2	25,5	86	69	379	144253	0,006	
6	300		-	12,6	63,7	0,1	99,9	76,3	76,4	89	75	1193	453952	0,014	
7	550	4,5	11	9,5	17,7	0,1	70,4	27,1	38,5	90	67	424	161346	0,047	84
8	500		2,8	10,5	34,7	0,1	93,8	45,2	48,2	92	69	707	269050	0,080	
9	450		1,2	7,8	18,2	0,1	95,2	26,0	27,3	87	66	406	154467	0,027	
10	400		-	8,9	28,8	0,8	98,0	37,7	38,5	85	67	590	224440	0,028	106
11	350		-	6,5	14,7	0,1	99,7	21,1	21,2	85	68	330	125769	0,005	
12	300		-	4,4	11,8	0,1	99,4	16,2	16,3	90	75	253	96307	0,001	

Спостерігається аномальна залежність, за якої з підвищенням температури може спостерігатися зменшення ступеню перетворення сировини. Це можна пояснити структурою каталізатору, яка змінюється із підвищенням температури. В цьому випадку оптимальний режим, досягнутий механохімічною активацією за низької температури, порушується, каталітична активність зменшується і відповідно зменшується швидкість.

Зміння інтенсивності МХА всього на 0,5 с<sup>-1</sup> може значно змінити швидкість реакцій в умовах аерозольного нанокаталізу. Наприклад, за температури 300°C і частот МХА 4 і 4,5 с<sup>-1</sup> (порівняння рядків 6 і 12 в таблиці), ступінь перетворення сировини відрізняється в 4,68 рази. Із збільшенням температури відмінність зменшується і при 550°C становить всього 1,015 рази (порівняння рядків 1 і 7 в таблиці). Слід відмітити, що за температури 450°C і вище майже зникає відмінність між кінетичними показниками реакції за різних умов МХА. Цей факт також підтверджує факт зменшення каталітичної активності даного зразку каталізатору за високих температур внаслідок термічних деформацій його структури.

Вплив температури на селективність (Ф) утворення світлих нафтопродуктів (бензинової і дизельної фракцій) показаний на рисунку 2.

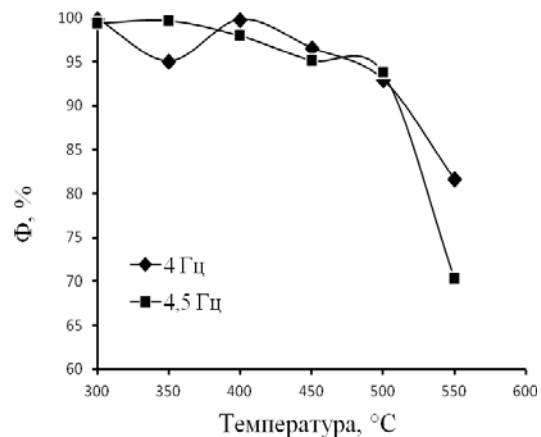


Рис. 2. Зміння селективності реакцій крекінгу за світлими нафтопродуктами від температури процесу за різних умов МХА

Для дослідженого інтервалу параметрів селективність зменшується від майже 99% до 70-80%. Характер кривих свідчить про те, що найбільш висока селективність досягається за температур 300-400°C. Подібні залежності характерні для всіх зразків оксид цирконієвих каталізаторів в умовах аерозольного нанокаталізу. Підвищення температури зменшує каталітичний ефект і уподібнює дані за різних умов МХА.

Відмінність для значень селективності на різних кривих за однакових температур вказує на те, що специфічні параметри аерозольного нанокаталізу (зокрема інтенсивність МХА) здатні впливати на механізм реакцій. Особливо добре це спостерігається за температури 550<sup>0</sup>С, де змінення інтенсивності МХА на 0,5 Гц змінило селективність в 1,16 рази.

Вплив інтенсивності МХА на октанове число бензинової фракції, визначеної за дослідницьким методом показаний на рис 3.

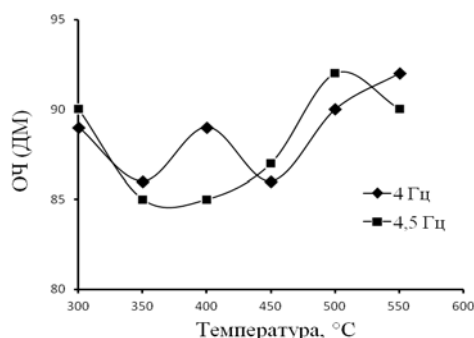


Рис. 3. Змінення октанового числа бензинової фракції від температури процесу крекінгу за різних умов МХА

Як видно з характеру кривих, із збільшенням температури дещо зростає ОЧ бензинової фракції, скоріш за все, внаслідок збільшення в її складі ароматичних вуглеводнів та олефінів. Але за різних частот ОЧ бензинів може відрізнятися на 3-4 пункти, що показує суттєвий вплив інтенсивності МХА на характеристики БФ.

Збільшення ОЧ є важливим показником, що свідчить про ефективність каталізатору. Тому керування якістю бензину шляхом змінення МХА може бути застосоване при реалізації процесу крекінгу аерозольним нанокаталізом в промислових умовах.

**6. Висновки.** Показана ефективність застосування нової модифікації оксид цирконієвого каталізатору (лабораторний зразок А-69-1) для процесу каталітичного крекінгу вакуумного газойлю в умовах технології аерозольного нанокаталізу:

1. Найбільша ефективність каталізу досягається за температур 300-400<sup>0</sup>С, коли зміненням МХА можна досягти збільшення ступеню перетворення сировини в 4,68 разів.

2. Збільшення температури процесу до 500-500<sup>0</sup>С призводить до зменшення впливу МХА на каталітичну активність, тому в умовах аерозольного нанокаталізу є доцільним проведення процесу за низьких температур.

3. Селективність утворення світлих нафтопродуктів збільшується з 70-80% до 98-99% при зменшенні температури процесу від 550 до 350<sup>0</sup>С та нижче. Застосування МХА та вибір оптимальної інтенсивності вібрації дозволяє змінювати селективність крекінгу, підвищуючи її до 1,16 разів, а можливо, і ще більше.

4. Октанове число бензинової фракції підвищується із підвищенням температури та може

бути зміненим на 3-4 пункти шляхом змінення інтенсивності МХА всього на 0,5 Гц.

#### Література

1. Гликин М. А. Аэрозольный катализ / М. А. Гликин // Теоретические основы химической технологии. – 1996. – Т. 30, № 4. – С. 430-435.
2. Гликин М. А. Аэрозольный нанокатализ. Изучение процесса крекинга высококипящих фракций нефти. / М. А. Гликин, И. М. Гликina, С. А. Кудрявцев // Хімічна промисловість України. – 2006. – № 1. – С. 24-29.
3. Змінення ефективності каталізаторів крекінгу вакуумного газойля в умовах технології аерозольного нанокаталізу / М. А. Гликин, І. М. Гликina, С. О. Кудрявцев [та ін.] // Катализ і нафтохімія. – 2010. – № 18. – С.10-16.
4. Кудрявцев С. А. Каталитический крекинг вакуумного газойля на цеолитсодержащем катализаторе (типа Y) по технологии аэрозольного нанокатализа / С. А. Кудрявцев, И. М. Гликina, С. В. Леоненко // Збірник тез доповідей IV Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології Київ, 4–6 квітня 2012 р. – К., 2012. – С. 96.
5. Glikin M. A. Specific control parameters in the technology of aerosol nanocatalysis / M. A.Glikin, I. M. Glikina, S. A. Kudryavtsev // ANNALES Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio AA CHEMIA. – 2009. – Vol. LXIV. – P. 218-226.
6. Кудрявцев С. О. Основи технології одержання бензинової фракції та етилену аерозольним нанокаталізом: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.07 «Технологія палива і паливно-мастильних матеріалів» / С. О. Кудрявцев. – Львів, 2007. – 24 с.
7. Процесс крекинга вакуумного газойля в условиях аэрозольного нанокатализа. Исследование поведения Si/Zr катализатора. / М. А. Гликин, И. М. Гликina, Б. Б. Мамедов, [и др.] // Хімічна промисловість України. – 2012. – № 1. – С. 16-22.
8. Одабащян Г. В. Лабораторный практикум по химии и технологии основного органического и нефтехимического синтеза. / Г. В. Одабащян, В. Ф., Швец. – М.: Химия, 1992. – 240 с.

#### References

1. Glikin M. A. Ajerazol'nyj kataliz / M. A. Glikin // Teoreticheskie osnovy himicheskoj tehnologii. – 1996. – Т. 30, № 4. – С. 430-435.
2. Glikin M. A. Ajerazol'nyj nanokataliz. Izuchenie processa krekinga vysokokipjashhijh frakcij nefiti. / M. A. Glikin, I. M. Glikina, S. A. Kudryavcev // Himichna promislovist' Ukraїni. – 2006. – № 1. – С. 24-29.
3. Zminennja effektivnosti katalizatoriv krekingu vakuumnogo gazojlja v umovah tehnologii aerezol'nogo nanokatalizu / M. A. Glikin, I. M. Glikina, S. O. Kudryavcev [ta in.] // Kataliz i naftohimija. – 2010. – № 18. – С.10-16.
4. Kudryavcev S. A. Kataliticheskij kreking vakuumnogo gazojlja na ceolitsoderzhashhem katalizatore (tipa Y) po tehnologii ajerozol'nogo nanokataliza / S. A. Kudryavcev, I. M. Glikina, S. V. Leonenko // Zbirknik tez dopovidej IV Mizhnarodnoї konferencii studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih z himii ta himichnoї tehnologii Kiїv, 4–6 kvitnja 2012 r. – К., 2012. – С. 96.
5. Glikin M. A. Specific control parameters in the technology of aerosol nanocatalysis / M. A.Glikin, I. M. Glikina, S. A.

- Kudryavtsev // ANNALES Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, sectio AA CHEMIA. – 2009. – Vol. LXIV. – P. 218-226.
6. Kudrjavcev S. O. Osnovi tehnologiji oderzhanja benzinovoi frakcii ta etilenu aerazol'nim nanokatalizom: avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.17.07 «Tehnologija paliva i palivno-mastil'nih materialiv» / S. O. Kudrjavcev. – L'viv, 2007. – 24 s.
  7. Process krekinga vakuumnogo gazojlja v uslovijah aerazol'nogo nanokataliza. Issledovanie povedenija Si/Zr katalizatora. / M. A. Glikin, I. M. Glikina, B. B. Mamedov, [i dr.]. // Himichna promislovost' Ukraïni. – 2012. – № 1. – S. 16-22.
  8. Odabashjan G. V. Laboratornyj praktikum po himii i tehnologiji osnovnogo organicheskogo i neftehimicheskogo sinteza. / G. V. Odabashjan, V. F., Shvec. – M.: Himija, 1992. – 240 s.

**Кудрявцев С. А., Филип Т. Ч. Каталитический крекинг вакуумного газойля на  $ZrO_2-SiO_2$  катализаторе (лабораторный образец А-69-1) в условиях аэрозольного нанокатализа**

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований новой модификации оксид циркониевого катализатора для процесса каталитического крекинга в условиях технологии аэрозольного нанокатализа. Установлено влияние температуры и интенсивности механохимической активации на скорость реакций крекинга и на состав продуктов. Показано, что изменением частоты колебаний виброреактора можно повысить скорость химических превращений почти в 4,7 раза. Доказано влияние частоты механохимической активации на селективность реакций крекинга, и экспериментально подтверждено увеличение селективности образования

светлых нефтепродуктов с 70-80% до 99% только изменением частоты МХА.

**Ключевые слова:** аэрозольный нанокатализ, каталитический крекинг, вакуумный газойль, дизельное топливо.

**Kudryavtsev S. A., Philips T. C. Catalytic cracking of vacuum gas oil on  $ZrO_2-SiO_2$  catalysts (laboratory sample A-69-1) via the aerosol nanocatalysis**

The article describes the results of experimental studies of a new modification of the zirconium oxide catalyst for catalytic cracking process in the conditions of the aerosol nanocatalysis technology. The influence of temperature and intensity of mechanical activation on the reaction rate and the composition products of cracking are described. It is shown that the change in the oscillation frequency in vibroreactor can increase the rate of chemical reactions nearly 4.7 times. Proven the influence of the frequency of mechanical activation on the selectivity of the cracking reactions and experimentally confirmed increase selectivity of light products from 70-80% to 99% only by changing the frequency of moss.

**Keywords:** aerosol nanocatalysis, catalytic cracking, vacuum gasoil, diesel fuel.

**Кудрявцев Сергій Олександрович** - к.т.н., доцент, доцент кафедри технології органічних речовин, палива та полімерів, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Сєверодонецьк) [koodryavthev@mail.ru](mailto:koodryavthev@mail.ru)

**Філіпс Тобенна Чімдіаді** – магістрант кафедри технології органічних речовин, палива та полімерів, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Сєверодонецьк) [koodryavthev@mail.ru](mailto:koodryavthev@mail.ru)

**Рецензент: Суворін О. В.** - д.т.н., доцент.

Стаття подана 03.10.2014