DOI: https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-20-7

УДК 62-622:662.7

Козюберда А.А., Климаш А.О., Соловйов Г.І., Могила В. І.

СЕЛЕКТИВНЕ КАТАЛІТИЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ЛОКОМОТИВІВ ВІД ОКСИДІВ АЗОТУ НА БЛОЧНОМУ ВОЛОКНИСТОМУ ВАНАДІЄВОМУ КАТАЛІЗАТОРІ

Одним з основних забруднювачів повітря двоокисом вуглецю (CO_2) , який признаний у світі основним джерелом, відповідальним за кліматичні зміни, є транспорт, у тому числі й залізничний. Дизельні двигуни залізничних локомотивів використовують переважно солярове масло-вуглеводневе дизельне паливо, яке виробляється з нафти. Коефіцієнти токсичності більшості з інгредієнтів (сажа, оксиди вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні, канцерогени- бенз-а-пірен та інші), які потрапляють у повітря з вихлопними газами двигунів локомотивів, є надмірними. Це потребує впровадження ефективних технологій знешкодження цих викидів. Найбільш поширеною зараз технологією комплексного знешкодження вихлопних газів дизельних агрегатів являється трьохступенева селективна каталітична система очистки під назвою «Селективне каталітичне відновлення» (“SCR”). Сучасний підхід до комплексного вирішення цієї складної проблеми в подальшому включає в себе, як вдосконалення каталізаторів у технології “SCR”, так і перехід на більш екологічно прийнятні види палива: скраплені вуглеводневі гази (метан, етан, пропан), спирти та їх ефіри (метанол, етанол, ді метиловий ефір), а також на повністю безвуглецеві палива , такі як: водень і аміак. Провідні світові лідери у цій сфері-фірми “Haldor Topce A/S”, “MAN” – вже задекларували свою спроможність до 2024 року повністю замінити дизельне паливо в потужних дизелях на морських танкерах на скраплений аміак. Перехід на водневе паливо гарантує повністю екологічно чисті викиди дизельних двигунів на залізничному транспорті. Перехід же на аміачне паливо виключає викиди сажі, оксидів вуглецю, вуглеводнів та канцерогенів, але не вирішує проблему викидів токсичних оксидів азоту. Актуальним представляється вивчення каталітичного знешкодження вихлопних газів дизельних двигунів від оксидів азоту при переводі їх на аміачне паливо.

В статті наведені результати лабораторних досліджень кінетичних закономірностей селективного каталітичного відновлення оксиду азоту аміаком на новому, розробленому нами, структурованому волокнистому каталізаторі (4,3% V_2O_5), який оснащений вмонтованим у стільниковий блок електричним нагрівачем. Досліди виконані на модельних сумішах складу: окис азоту - 500ppt: аміак - 600ppt ; кисень - 2%об., азот - до сумарного тиску 125 кПа. Проби каталізатора попередньо роздроблювали та розсівали на ситах до розмірів кінетичних фракцій (0,105-0,195 мм). Показано, що кінетична область протікання каталітичного процесу знаходиться в межах температури 190-230°С. Розрахована енергія активації реакції, яка склала 64200 кДж/кмоль. У рамках досліджень виведене повне кінетичне рівняння для кінетичної області протікання реакції. У подальшому планується виконати роботи по вивченню гідродинамічних констант процесу у дифузійної області його протікання.

Ключові слова: *локомотиви, екологічні палива, аміак, окис азоту, каталізатор, кінетика.*

Актуальність дослідження. Одним з найбільш значних кліматичних забруднювачів повітря є CO_2 , суттєвим джерелом якого є транспорт, у тому числі й залізничний, тому що він використовує вуглеводневі палива, які виробляються зараз переважно з нафти [1,2]. Викликом сучасності є безальтернативний перехід на без вуглецеві палива. Останні 2-3 роки з´явилися публікації, у яких фігурує у якості «зеленого» палива аміак, наприклад, для дизельних силових агрегатів морських танкерів [2], а також залізничних локомотивів, автомобілів і тракторів [1]. Показники деяких дизельних палив [2] наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Показники палив

Паливо	Температура кипіння, град. С	Тиск при 20°С, бар	Щільність при 15°С, кг/м^3	Теплота горіння, МДж/кг	Енергетична щільність, МДж/л	Викиди СО2, кг/ГДж
Водень (H_2)	-253	-	71	120	8,5	0
Природний газ (CH_4)	-162	-	450	50	22,5	56
Скраплений пропан	-42	7,5 (10)	550	46	22,5	60
Скраплений аміак (NH_3)	-33	7,6 (10)	618	18,6	12,7	0
Метанол (CH_3OH)	+65	1,0	780	19,9	15,5	70
Дизельне. пальне (Heavy Fuel Oil)	>+160	1,0	920-1010	40	35	80

Провідні світові лідери у цій сфері-фірми “Haldor Topce A/S”, “MAN” – вже задекларували свою спроможність до 2024 року повністю замінити дизельне паливо в потужних (до 78 тис. к.с.) дизелях на морських танкерах на скраплений аміак [1,2]. Перехід на водневе паливо гарантує повністю екологічно чисті викиди дизельних двигунів на залізничному транспорті. Перехід же на аміачне паливо виключає викиди сажі, оксидів вуглецю, вуглеводнів та канцерогенів, але не вирішує проблему викидів токсичних оксидів азоту. Актуальним представляється вивчення кінетики реакції каталітичного знешкодження вихлопних газів дизельних двигунів від оксидів азоту при переводі їх на аміачне паливо.

Теоретичний аналіз дослідження і постановка проблеми. Найбільш поширеною зараз технологією комплексного знешкодження вихлопних газів дизельних агрегатів являється трьох ступенева селективна каталітична система очистки під фірмовою назвою «Селективне каталітичне відновлення» (“SCR”)[3,4]. Сучасний підхід до комплексного вирішення цієї складної проблеми в подальшому включає в себе, як вдосконалення каталізаторів у технології “SCR”, так і перехід на більш екологічно прийнятні види палива: скраплені вуглеводневі гази (метан, етан, пропан), спирти та їх ефіри (метанол, етанол, ді метиловий ефір), а також на повністю без вуглецеві палива , такі як: водень і аміак. Теоретичні засади кінетики досліджуваних процесів наведені у чисельних наукових обзорах по даній тематиці [3-6]. Запланований швидкий перехід на аміак у якості нового палива для дизельних двигунів, та розробка нами та впровадження нових типів структурованих волокнистих каталізаторів селективного знешкодження оксидів азоту, поставила невідкладну необхідність досконало вивчити цю проблему.

Мета статті: Вивчення кінетичних закономірностей селективного каталітичного відновлення окису азоту аміаком на новітньому структурованому волокнистому каталізаторів на базі оксиду ванадію (4,3%), який оснащений вмонтованим у стільниковий блок електричним нагрівачем.

Задачі дослідження. Задачею лабораторних досліджень кінетичних закономірностей селективного каталітичного відновлення оксиду азоту аміаком на новому, розробленому нами, структурованому волокнистому каталізаторі (4,3% V_2O_5), який оснащений вмонтованим у стільниковий блок електричним нагрівачем, є отримання кінетичних констант (енергія активації, порядок реакції), а також сталого кінетичного рівняння, яке буде використане на етапах конструювання реакторів сучасними методами математичного моделювання.

Основна частина.

Креативність методики виготовлення нових структурованих волокнистих каталізаторів полягає в тому, що ми використовуємо найкращі на світовому ринку промислові гранульовані каталізатори, які вже зарекомендували свої переваги у промисловій експлуатації, у якості напівпродуктів для синтезу наших структурованих стільникових каталізаторів, які мають переваги завдяки вмонтованим у їх блоки ефективних електричних нагрівачів. Наприклад, гранули контактів для конверсії метану фірм “ICI” марки 57_4 або “RKC-2-6H” фірми “Haldor Topsoe”[2] або вітчизняних каталізаторів (ГІАП-3-6Н, Ц-905, К-905, НІАП-22 та інші), а також каталізатор селективного відновлення оксидів азоту аміаком марки «АВК-10М» подрібнюємо та розмелюємо до порошку з подальшим розсіюванням на ситах для виділення фракції гранул розмірами 0,1-0,25мм.

Нами на рівні «НОУ-ХАУ» винайдена композиція суміші неорганічних і органічних наноклеїв, за допомогою яких ми закріплюємо порошкоподібний каталізатор у структурі волокнистого стільникового матеріалу. Керамічну волокнисту плиту марки «LYTX-1430B», яка виготовляються методом вакуум-пресування синтетичного мінерального волокна (термостійкої вати) з діаметром ниток 3-3,5мкм марки «LYTX-611», просочують пастоподібною водною суспензією порошку каталізатора, яка включає також термостійкий нанокремнієвий клей (30% від маси зразка вати). Це дозволяє нам виготовляти легкий (0,3-0,5 г/см^3), твердий, супер термостійкий (1430-1600°С) матеріал - керамічну плиту, схожу на пінопласт. Товарна керамічна плита має розміри 1000×1200×25 мм. Від неї по торцю 1200 мм відрізаємо полосу, завширшки 3,3-5 мм, яка має у площині розміри 1200×25мм.

Для виготовлення лабораторних зразків структурованих волокнистих каталізаторів беремо матеріал носія круглої форми діаметром 12-15 мм заввишки 3,3-5 мм. , поміщуємо у прес-форму, спресовуємо до щільності 300 г/см^3. Синтетичне мінеральне волокно, яке входить до складу керамічної плити (термостійкого пінопласту), має наступний хімічний склад: оксид кремнію-46%; оксид алюмінію-32%; оксид цирконію-22%. Максимальними температурами їх експлуатації є діапазон 1430-1600°С.

Каталізатор, на якому вивчали кінетику, готували просоченням керамічної волокнистої плити водною пастою порошку (0,1-0,2мм) серійного промислового каталізатору марки «АВК-10М» з розрахунку внесення 30% сухого контакту від маси сухого носія. В статті наведені результати лабораторних досліджень кінетичних закономірностей реакцій 1,2 селективного каталітичного відновлення оксиду азоту аміаком на новому, розробленому нами, структурованому волокнистому каталізаторі (4,3% V_2O_5).

1) $6NO + 4NH_3 = 5N_2 + 6H_2O$ -1480 кДж/моль

2) $4NO + 4NH_3 + O_2 = 4N_2 + 6H_2O$ -1224 кДж/моль

Каталізатор, який має насипну щільність 470±30кг/м^3, порозність – 89,4%, завантажували для випробувань у кювету інтегрального (без градієнтного) лабораторного мікро реактора. Зразки контакту були вагою в межах 0,4-2,6 г. Лабораторна установка з вивчення кінетики реакції селективного відновлення оксиду азоту аміаком базується на типовому інтегральному (без градієнтному) скляному ректорі з поршневим перемішуванням конструкції Г.П. Корнійчука. Експеримент виконували наступним чином. У кювету реактора загружали послідовно лабораторні зразки структурованого волокнистого каталізатора, виготовлені по методиці, представленій вище. Вага зразків змінювалась від опиту до опиту наступним чином: 0,516; 0,764; 1,128; 1,592; 1,972 і 2,148 грамів. Перед кожною серією дослідів каталізатор переводили в стабілізований стан, обробляючи його азотом впродовж 2-х годин при температурі 400 °С. У всіх експериментах в реактор дозували однакову кількість реагентів: оксид азоту-40 $см^3$/хвилину; аміак-50 $см^3$/хвилину; суміш повітря та азоту з вмістом кисню 2%об. - розбавлення оксиду азоту до концентрації 500 ppm, до сумарного тиску суміші газів 125 кПа. Температуру реакції у межах 190-330°С задавали за допомогою електричної спіралі, вмонтованої у мікрореактор. Після реактору реакційну суміш охолоджували до кімнатної температури у водяному скляному теплообміннику, а конденсат водяної пари збирали у фазороздільник. Далі парогазова суміш проходила через колонку с селікагелем, де вона осушувалась. Після клапана регулювання тиску очищені гази поступали на аналіз у газовий хроматограф марки «ЛХМ-08МД» , а також у інфрачервоний газовий аналізатор O_2 та NO марки "Testo 330".

Газохроматографічний контроль реагентів і продуктів реакцій (серед яких реєстрували закис азоту (N_2O), окис азоту (NO), двоокис азоту (NO_2), аміак та кисень) проводили з використанням детекторів по теплопровідності і колонок, заповнених: 1) молекулярними ситами NaX, 3 м; $T_{ко.}$= 60°С; V_{Ar} = 40 $см^3$/хв – N_2O, NO, NH_3. Результати експериментальних досліджень по вивченню кінетики селективного каталітичного знешкодження модельних сумішей вихлопних газів дизельних локомотивних двигунів від оксидів азоту в інтегральному лабораторному мікрореакторі представлені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Результати дослідів по вивченню кінетики селективного каталітичного знешкодження оксидів азоту на структурованому волокнистому каталізаторі в лабораторному інтегральному (без градієнтному) мікрореакторі. Склад газової суміші на вході в реактор: оксид азоту (NO)-40 $см^3$/хв (500 ppm) ; аміак-50 $см^3$/хв. (600 ppm); суміш повітря та азоту (2% об. O_2) – розбавлення NO до вмісту 500 ppm. Тиск суміші-125 кПа.

№	T, K	t, °C	Маса каталіз., г	X_{NO}, %	Конц. NO, ppm	Концент. NO, $\cdot 10^5$ кмоль/$м^3$	Парці-альний тиск NO кПа	k, $см^3$/г·годину кПа ($k_{ср.}$)	1000/T	LN ($k_{ср.}$)	R_{NO}, $см^3$/г·годину	R_{NO}, Кмоль/$м^3 \cdot с$ $\cdot 10^5$	K_{NO}, 1/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	463	190	0,764	3,2	484	2,161	0,0605	114			6,9	4,022	1,861
3	463	190	1,128	5,7	471,5	2,105	0,0589	112			6,6	3,847	1,828
4	463	190	1,532	8,7	456,5	2,038	0,0571	111			6,34	3,695	1,813
5	463	190	1,972	9,4	453	2,022	0,0566	110			6,23	3,631	1,796
6	463	190	2,148	10,1	449,5	2,007	0,0562	108,5 (112)	1,6584	4,72	6,1	3,555	1,771
7	488	215	0,516	3,9	480,5	2,145	0,060	213			12,78	7,449	3,473
8	488	215	0,764	7,4	463	2,067	0,0579	211			12,22	7,122	3,446
9	488	215	1,128	10,4	448	2,00	0,056	210			11,76	6,761	3,381
10	488	215	1,532	14,9	425,5	1,9	0,0532	199			10,59	6,172	3,248
11	488	215	1,972	18,8	406	1,813	0,0508	196			9,96	5,805	3,202
12	488	215	2,148	21,3	393,5	1,757	0,0492	193 (204)	1,6813	5,32	9,5	5,537	3,054
13	500	227	0,516	7,1	471,5	2,105	0,0589	330			17,56	10,235	4,862
14	500	227	0,764	10,1	453,5	2,025	0,0567	317			17,97	10,474	5,172
15	500	227	1,128	14,8	426	1,902	0,0533	315			16,79	9,786	5,145
16	500	227	1,532	20,5	402,5	1,797	0,0503	321			16,15	9,413	5,238
17	500	227	1,972	26,8	376	1,679	0,0470	326			15,32	8,929	5,318
18	500	227	2,148	29,1	360,5	1,609	0,0451	326 (322)	1,7153	5,784	14,66	8,544	5,31
19	543	270	0,516	8,7	425,5	1,9	0,0532	405			21,55	12,56	6,611
20	543	270	0,764	13,1	403	1,8	0,0504	411			20,71	12,071	6,706

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
21	543	270	1,128	19,1	361,5	1,614	0,0452	406			18,35	10,695	6,626
22	543	270	1,532	25,5	322,5	1,44	0,0403	400			16,12	9,395	6,524
23	543	270	1,972	33,1	303	1,353	0,0379	403			15,27	8,9	6,578
24	543	270	2,148	35,9	278,5	1,243	0,0348	401 (404)	1,7452	6,0	13,95	8,131	6,541
25	563	290	0,516	10,4	415	1,98	-	484	1,7752	6,2	-	-	-
26	573	300	0,516	12,9	401	1,79	-	597	1,8417	6,4	-	-	-
27	583	310	0,516	15,8	377	1,797	-	736	2,0	6,6	-	-	-
28	593	320	0,516	21,5	354	1,617	-	998	2,05	6,8	-	-	-
29	603	330	0,516	23,7	349	1,567	-	1100	2,1584	7,0	-	-	-

Залежність логарифму константи швидкості реакції каталітичного відновлення оксиду азоту аміаком від температури (1000/T) наведена на рисунку 1.

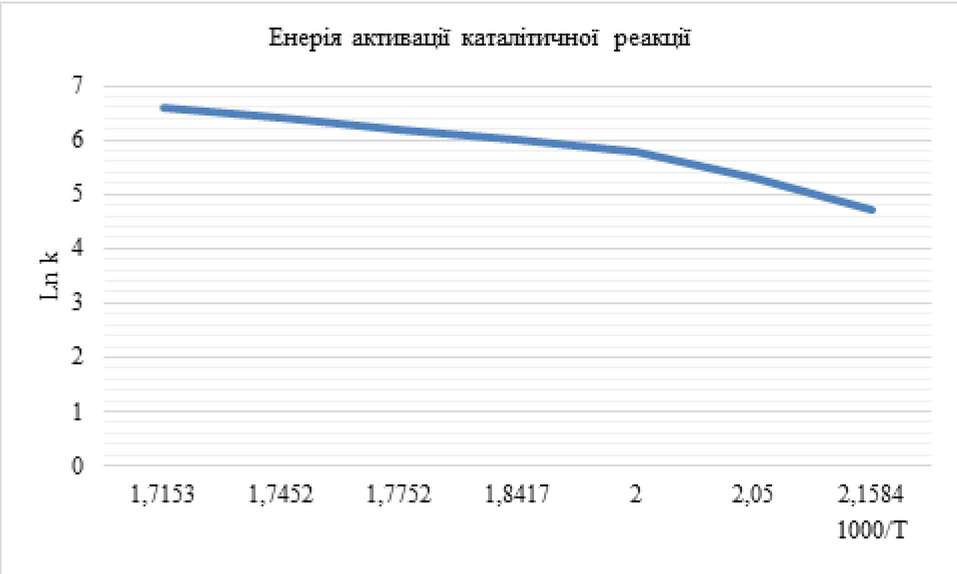

Рисунок 1 – Залежність натурального логарифму константи швидкості каталітичної реакції оксиду азоту з аміаком на волокнистому структурованому каталізаторі (4,3% V_2O_5) від температури.

Графічна обробка даних, наведених на рисунку 1, дозволила встановити енергію активації реакції у кінетичному діапазоні її протікання (190-230°C), яка склала 64,2 кДж/моль (64200 кДж/кмоль).

Кінетичне рівняння селективного каталітичного відновлення оксиду азоту аміаком на досліджених лабораторних зразках розробленого нами структурованого волокнистого каталізатору (вміст V_2O_5 – 4,3%) представлено нижче:

$$R_{NO} = 5,28 \cdot 10^7 \cdot e^{-\frac{64200}{RT}} \cdot C_{NO}, \qquad (1)$$

де: R_{NO} – швидкість реакції каталітичного відновлення NO, кмоль/м^3·с;

R – універсальна газова константа;

C_{NO} – концентрація NO на поверхні каталізатора, кмоль/м^3.

У дифузійному режимі, який має місце в діапазоні температури 230-330°C, швидкість реакції залежить не тільки від хімічної активності каталізатору, а й від швидкості масо-передачі. Тобто, для адекватного прорахунку реакторів потрібно вивчати додатково такі гідродинамічні показники, як ефективні коефіцієнти дифузії реагентів та продуктів реакції (D), та коефіцієнтів масо віддачи (β) та тепло віддачи (α). Для цього потрібні додаткові дослідження.

Висновки. На модельних сумішах, які емітували вихлопні гази дизельних двигунів локомотивів з урахування переведення їх на аміачне паливо, проведені лабораторні досліди по вивченню кінетичних закономірностей селективного каталітичного відновлення оксиду азоту аміаком на структурованому волокнистому каталізаторі з вмонтованим у стільниковий блок електричним підігрівачем, розробленого нами.

Встановлено, що кінетичний режим протікання каталітичної реакції існує лише у вузькому температурному діапазоні 190-230°С. Енергія активації реакції у кінетичному режимі складає 64,2 кДж/моль.

Показано, що в температурному діапазоні 230-330°С процес протікає виключно у зовнішньо дифузійному режимі, а його швидкість треба визначати по механізму масопередачі.

Література

1. Fatih Birol. The Future of Hydrogen. Seizing today´s opportunities. Report prepared by IEA for G20, Japan, June 2019, P. 1-5
2. Ammonfuel - An industrial view of ammonia as marine fuel // веб-сайт. URL: https://hafniabw.com/wp-content/uploads/2020/08/Ammonfuel-Report-an-industrial-view-of-ammonia-as-a-marine-fuel
3. Handbook of Heterogeneous Catalysis / Environmental Catalysis /, Edited by G. Ertl, H. Knozinger, J. Weitkamp, «WILEY-VCH», 2008, p.p.2274- 2334, 2340-2342, 2345-2370.
4. P.I. Parvulescu, P. Grange, B. Delmon. Catalytic removal of NO / Catalysis Today, 46(1998), p.p.233-316
5. E. Tronconi, A. Beretta. The role of inter- and intra-phase mass transfer in the SCR-DeNO$_X$ reaction over catalysts of different shapes / Catalysis Today, 52(1999), p.p. 249-258
6. E. Tronconi. Interaction between chemical kinetics and transport phenomena in monolithic catalysts / Catalysis Today, 34(1997), p.p. 421-427

References

1. Fatih Birol. The Future of Hydrogen. Seizing today´s opportunities. Report prepared by IEA for G20, Japan, June 2019, P. 1-5
2. Ammonfuel - An industrial view of ammonia as marine fuel // веб-сайт. URL: https://hafniabw.com/wp-content/uploads/2020/08/Ammonfuel-Report-an-industrial-view-of-ammonia-as-a-marine-fuel
3. Handbook of Heterogeneous Catalysis / Environmental Catalysis /, Edited by G. Ertl, H. Knozinger, J. Weitkamp, «WILEY-VCH», 2008, p.p.2274- 2334, 2340-2342, 2345-2370.
4. P.I. Parvulescu, P. Grange, B. Delmon. Catalytic removal of NO / Catalysis Today, 46(1998), p.p.233-316
5. E. Tronconi, A. Beretta. The role of inter- and intra-phase mass transfer in the SCR-DeNO$_X$ reaction over catalysts of different shapes / Catalysis Today, 52(1999), p.p. 249-258
6. E. Tronconi. Interaction between chemical kinetics and transport phenomena in monolithic catalysts / Catalysis Today, 34(1997), p.p. 421-427

Одним из основных загрязнителей воздуха двуокисью углерода (CO_2), который признан в мире основным источником, ответственным за климатические изменения, является транспорт, в том числе и железнодорожный. Дизельные двигатели железнодорожных локомотивов используют преимущественно соляровое масло-углеводородное дизельное топливо, которое производится из нефти. Коэффициенты токсичности большинства из ингредиентов (сажа, оксиды углерода, оксиды азота, углеводороды, канцерогены - бенз-а-пирен и другие), которые попадают в воздух с выхлопными газами двигателей локомотивов, являются чрезмерными. Это требует внедрения эффективных технологий обезвреживания этих выбросов. Наиболее распространенной сейчас технологией комплексного обезвреживания выхлопных газов дизельных агрегатов является трехступенчатая селективная каталитическая система очистки под названием «Селективное каталитическое восстановление» («SCR»). Современный подход к комплексному решению этой сложной проблемы в дальнейшем включает в себя, как совершенствование катализаторов в технологии "SCR", так и переход на более экологически приемлемые виды топлива: сжиженные углеводородные газы (метан, этан, пропан), спирты и их эфиры (метанол , этанол, ди метиловый эфир), а также на полностью безуглеродные топлива, такие как: водород и аммиак. Ведущие мировые лидеры в этой сфере - фирмы "Haldor Topce A/S", "MAN" - уже задекларировали свою способность до 2024 года полностью заменить дизельное топливо в мощных дизелях на морских танкерах на сжиженный аммиак. Переход на водородное топливо гарантирует полностью экологически чистые выбросы дизельных двигателей на железнодорожном транспорте. Переход же на аммиачное топливо исключает выбросы сажи, оксидов углерода, углеводородов и канцерогенов, но не решает проблему выбросов токсичных оксидов азота. Актуальным представляется изучение каталитического обезвреживания выхлопных газов дизельных двигателей от оксидов азота при переводе их на аммиачное топливо.

В статье приведены результаты лабораторных исследований кинетических закономерностей селективного каталитического восстановления оксида азота аммиаком на новом, разработанном нами, структурированном волокнистому катализаторе (4,3% V_2O_5), который оснащен встроенным в сотовый блок электрическим нагревателем. Опыты выполнены на модельных смесях состава: окись азота - 500ppm: аммиак - 600ppm; кислород - 2% об., азот - до суммарного давления 125 кПа. Пробы катализатора предварительно дробили и рассеивали на

ситах с размерами кинетических фракций (0,105-0,195 мм). Показано, что кинетическая область протекания каталитического процесса находится в пределах температуры 190-230 °С. Рассчитана энергия активации реакции, которая составила 64200 кДж/кмоль. В рамках исследований выведено полное кинетическое уравнение для кинетической области протекания реакции. В дальнейшем планируется выполнить работы по изучению гидродинамических констант процесса в диффузионной области его протекания.
Ключевые слова: локомотивы, экологические топлива, аммиак, окись азота, катализатор, кинетика.

One of the main air pollutants, carbon dioxide (CO_2), which is recognized worldwide as the main source of climate change, is transport, including rail. Diesel engines of railway locomotives use mainly diesel oil-hydrocarbon fuel, which is produced from petroleum. The toxicity coefficients of most of the ingredients (soot, carbon oxides, nitrogen oxides, hydrocarbons, carcinogens - benz-a-pyrene, etc.) that enter the air with the exhaust gases of locomotive engines are excessive. This requires the introduction of effective technologies for neutralizing these emissions. The most widespread technology for the comprehensive treatment of diesel engine exhaust gases is a three-stage selective catalytic cleaning system called "Selective Catalytic Reduction" ("SCR"). The modern approach to a comprehensive solution to this complex problem in the future includes both the improvement of catalysts in the "SCR" technology, and the transition to more environmentally friendly fuels: liquefied hydrocarbon gases (methane, ethane, propane), alcohols and their ethers (methanol, ethanol, dimethyl ether), as well as completely carbon-free fuels such as hydrogen and ammonia. Leading world leaders in this area - Haldor Topce A/S, MAN - have already declared their ability to completely replace diesel fuel in powerful diesel engines on sea tankers with liquefied ammonia by 2024. The switch to hydrogen fuel guarantees completely clean diesel emissions from rail transport. Switching to ammonia fuel excludes emissions of soot, carbon oxides, hydrocarbons and carcinogens, but does not solve the problem of emissions of toxic nitrogen oxides. The study of catalytic neutralization of exhaust gases from diesel engines running on ammonia fuel from nitrogen oxides seems to be relevant.
The article presents the results of laboratory studies of the kinetic regularities of the selective catalytic reduction of nitric oxide with ammonia on a new structured fibrous catalyst (4.3% V_2O_5) that we have developed, which is equipped with an electric heater built into the honeycomb block. The experiments were performed on model mixtures of the following composition: nitric oxide - 500ppm; ammonia - 600ppm; oxygen - 2% vol., nitrogen - up to a total pressure of 125 kPa. Samples of the catalyst were preliminarily crushed and dispersed on sieves with sizes of kinetic fractions (0.105-0.195 mm). It is shown that the kinetic range of the catalytic process is within the temperature range of 190-230 ° C. The calculated activation energy of the reaction was 64200 kJ/kmol. As part of the research, a complete kinetic equation for the kinetic region of the reaction was derived. In the future, it is planned to carry out work on the study of the hydrodynamic constants of the process in the diffusion region of its course.
Keywords: locomotives, ecological fuels, ammonia, nitrogen oxide, catalyst, kinetics.

Козюберда А.А. – аспірант, кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: aspirant-93@snu.edu.ua

Климаш А.О. – канд.тех.наук, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: klimash@snu.edu.ua

Соловйов Г.І. – канд.тех.наук, доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: solgenn46@gmail.com

Могила В.І. – канд.тех.наук, доцент, професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: mogila@snu.edu.ua