

Столяренко Г.С.

Черкаський державний технологічний університет

СИНТЕЗ ТА ВИКОРИСТАННЯ КИСНЕВМІСНИХ РАДИКАЛІВ ПІД ВПЛИВОМ ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФІОЛЕТУ У ВИРОБНИЦТВІ НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ

У статті розглянуто теоретичні основи процесу фотокаталітичного перетворення води і кисню повітря в активні сполуки у вигляді оксигеновмісних радикалів, що дають можливість при взаємодії з оксидами Нітрогену синтезувати низьконцентровані розчини нітратної кислоти.

Для виробництва нітратної кислоти використовують методи каталітичного термічного відновлення оксидів Нітрогену, які під дією відновників переходять в молекулярний азот, а як побічні продукти відводиться вода і CO_2 . Неселективне відновлення здійснюється шляхом гетерофазної взаємодії оксидів Нітрогену з дозованою кількістю відновника (водень, метан, Карбон (II) оксид, азотно-воднева суміш чи нафтовий газ). Як каталізатори використовуються: платина, родій, паладій, нікель, хром та інші.

Метод селективного каталітичного відновлення оксидів Нітрогену до молекулярного азоту заснований на використанні як відновника – аміаку. Проблемами процесу є: можливість вторинного забруднення димових газів аміаком; утворення відкладень амоній сульфід-бісульфіту, що призводить до зупинки димососа і повітрянагрівача. Негативним чинником, властивим всім каталітичним відновним процесам, є висока витрата відновника для взаємного руйнування зв'язаного азоту.

Пропонується використання мокрих способів очищення, що ґрунтуються на ряді хемосорбційних процесів, де, як абсорбенти використовуються: вода з різними окисниками, розчини карбонатів, гідрокарбонатів та карбаміду. Реакції оксидів Нітрогену з розчинами окисників характеризуються високим ступенем очищення, але дороговартісні на стадії підготовки окисника і переробки продуктів реакцій.

Потрібні більш досконалі розробки, як по каталітичних масах, так і по системах очищення. Запропоновано механізм отримання оксигеновмісних радикалів з води і кисню повітря та елементарні реакції синтезу нітратної кислоти. Наведено методику проведення дослідження, принцип роботи експериментальної установки з використанням двох гідрогенних ламп. Одна з ламп є джерелом ультрафіолетового опромінення, а друга – реактором проведення дослідження процесу окиснення та поглинання NO. Наведено класифікацію категорій ультрафіолетового опромінення залежно від діапазону довжини хвиль, що дало можливість обрати оптимальні умови проведення процесу і обрати склад кварцового скла (LiF) для проведення експериментів. Представлено методику визначення оксидів Нітрогену з використанням реактиву Грісса. Наведено результати експериментальних досліджень при різних умовах кислотоутворення (HNO_3). Всі розрахунки здійснювалися за допомогою програми MathCad.

Отримані результати експериментальних даних було використано при розробці конструкції реактора ультрафіолетового опромінення: матеріалу для використання кварцового скла (LiF); розмірів реакційного об'єму; часу знаходження газової суміші в реакційному об'ємі реактора.

Ключові слова: радикал, ультрафіолет, спектр, оксиди Нітрогену, технології виробництва нітратної кислоти.

Постановка проблеми. Існуючі у промисловості технології очищення нітрозних газів започатковані на процесах відновлення оксидів Нітрогену на каталізаторах. У промисловій практиці застосовують методи каталітичного відновлення оксидів Нітрогену природним газом або аміаком до молекулярного азоту та води. Умовно за температурою відновлення процеси поділяють

на високотемпературні (більше 500°C) та низькотемпературні (менше 500°C) [1].

З метою зменшення витрат природного газу та зниження температури процесу в наш час найбільш поширений метод низькотемпературного відновлення, що ґрунтується на селективній взаємодії оксидів Нітрогену з аміаком на алюмінованадієвому каталізаторі. Технологія очищення

нітрозних газів від оксидів Нітрогену складна та дороговартісна, але ще й призводить до витрат зв'язаного азоту для процесів утилізації нітрозних газів з отриманням молекулярного азоту. При використанні аміаку викидні нітрозні гази забруднюються надлишковим азотом.

В даній статті пропонується технологія очищення нітрозних газів шляхом їх окиснення під дією вакуумного ультрафіолету та поглинання у присутності кисню повітря та активованій вакуумним ультрафіолетом води для перетворення оксидів Нітрогену у розбавлену нітратну кислоту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючий перелік останніх досліджень та публікацій щодо очищення нітрозних газів складає більше 100 джерел, що підтверджує актуальність даного напрямку досліджень. Запропоновано різноманітні сорбенти та окисники для зменшення викидів оксидів Нітрогену в атмосферу. Як окисники використовувалися розчини калій перманганату, перекису водню та озону. Радикальні процеси, що використовують $\text{HO}^\bullet$, $\text{HO}_2^\bullet$ використовують як в методах газозв'язного [2, с. 1–3] так і гетерофазного озонування [3, с. 142–145; 4, с. 5–8].

Процеси, що пропонуються, спрямовані на заміну існуючих у виробництві економічно недовідомі відновлювальні методи, що призводять до втрат зв'язаного азоту NH_3 для зменшення викидів оксидів Нітрогену в навколишнє середовище.

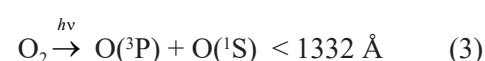
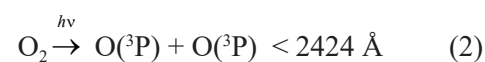
Постановка завдання. Ультрафіолетове опромінення при синтезі нітратної кислоти здійснюється з використанням оксидів Нітрогену низької концентрації. З метою визначення оптимальних умов впливу ультрафіолетового опромінення використовуються оксигеновмісні радикали, що синтезуються з молекул води та кисню нітрозного газу.

Досліджувався вплив ультрафіолетового опромінення на процес окиснення оксидів Нітрогену оксигеновмісними радикалами під впливом активованих молекул води у присутності кисню повітря. Для цього було проведено серію дослідів синтезу нітратної кислоти.

Виклад основного матеріалу. Світло за спектром (довжиною хвилі) розділяється на категорії [5, с. 394], а саме на ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне. В свою чергу ультрафіолетові (УФ) промені також поділяються за довжиною хвилі на підкатегорії, це розділення надано у таблиці 1.

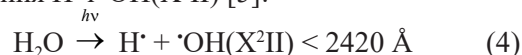
При потраплянні УФ випромінювання в систему кисень-вода ($\text{O}_2\text{-H}_2\text{O}$) відбувається синтез оксигеновмісних радикалів ($\text{HO}^\bullet$, $\text{HO}_2^\bullet$) [5].

Процес залежить від порогової довжини хвиль з утворенням атомарного Оксигену $\text{O}(^3\text{P})$, $\text{O}(^1\text{D})$ і $\text{O}(^1\text{S})$ [6, с. 8] з кисню потоку нітрозного газу верху абсорбційної колони:



Процес утворення радикалів з води проходить в області $1400\text{--}1900 \text{ \AA}$ – $\bar{X}^1A_1$, кут між зв'язками Н-О-Н дорівнює $105,2^\circ$; енергія зв'язку $D_0(\text{H-O-H})$ дорівнює $5,118 \pm 0,01 \text{ eV}$ ($\text{O}(^3\text{P}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HO}^\bullet + \text{HO}^\bullet$).

При опроміненні води ультрафіолетовими променями з довжиною хвилі $1400\text{--}1900 \text{ \AA}$, основним переважаючим процесом у цій області є утворення $\text{H}^\bullet$ і $\text{OH}^\bullet(\text{X}^2\Pi)$ [5]:



Обертальне розподілення $\text{HO}^\bullet$ практично спостерігається при кімнатній температурі.

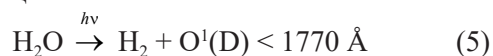
Таблиця 1

Поділ УФ світла на підкатегорії

Спектральна підкатегорія	Діапазон довжин хвиль (нм)	Назва
UV	$100 \leq \lambda < 400$	Ультрафіолет
VUV	$10 \leq \lambda < 200$	Вакуумний ультрафіолет
EUV	$10 \leq \lambda < 121$	Екстремальний ультрафіолет
H Lyman- α	$121 \leq \lambda < 122$	Водневий Леман-альфа
FUV	$122 \leq \lambda < 200$	Далекий ультрафіолет
UVC	$100 \leq \lambda < 280$	Ультрафіолет С
MUV	$200 \leq \lambda < 300$	Середній ультрафіолет
UVB	$280 \leq \lambda < 315$	Ультрафіолет В
NUV	$300 \leq \lambda < 400$	Ближній ультрафіолет
UVA	$315 \leq \lambda < 400$	Ультрафіолет А

Вважається, що збуджений стан води, відповідальний за дисоціацію у цій області – нестабільний стан $\tilde{A}^1(B_1)$.

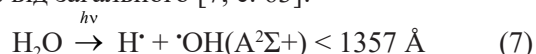
Другий енергетично можливий по спіну первинний процес:



При імпульсному фотолізі суміші води з великим надлишком H_2 отримали більші концентрації $HO^\bullet$, ніж при фотолізі чистої води. Утворення надлишку H_2 віднесли до процесу (6) за наступною реакцією:

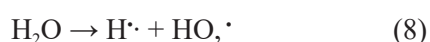


В області 1200–1400 Å основними переважаючими процесами є процеси (5), (6). При довжині хвилі менше 1350 Å наступний процес (7) складає 5 % від загального [7, с. 63]:

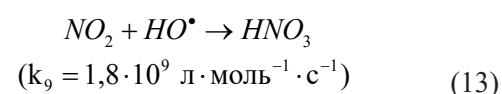
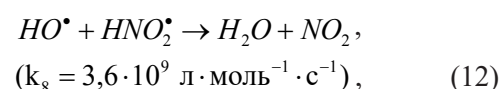
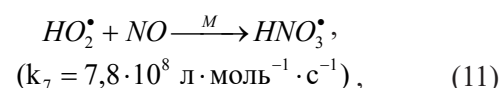
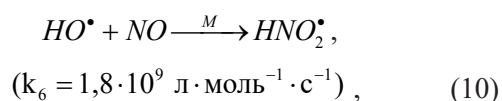


Енергія, яка перевищує мінімальне значення, необхідна для проходження реакції (7), йде переважно на обертаюче збудження $\cdot OH(A^2\Sigma^+)$.

Радикали $HO^\bullet$ і $HO_2^\bullet$ утворюються також з високим квантовим виходом при розкладанні води в умовах вакуумного ультрафіолету при довжині хвилі $\lambda < 1470 \text{ Å}$:



Коливально-збуджені радикали $HO^\bullet$ і $HO_2^\bullet$ при будь-яких концентраціях практично миттєво ($10^{-2} - 10^{-4} \text{ с}$) вступають в реакцію з Нітроген (II) оксид, незважаючи на мікроконцентрації останнього [8, с. 141]:



Швидкість наведених реакцій, а також їх повнота, дозволяє шляхом визначення кількості утвореної нітратної та нітритної кислот оцінити

кількість утворених оксигеновмісних радикалів ($HO^\bullet$, $HO_2^\bullet$). Це твердження і було покладене в основу дослідження процесу утворення оксигеновмісних радикалів ($HO^\bullet$, $HO_2^\bullet$) при використанні вакуумного ультрафіолету та нітратної кислоти.

Методика проведення досліджень. Принцип роботи експериментальної установки.

В процесі досліджень радикали синтезувалися в потоці газової суміші з концентрацією NO і NO_2 відповідно 0,1 і 0,002 % об. Ця газова суміш направлялася в реакційну зону, що піддавалася впливу вакуумного ультрафіолетового опромінювання.

Довжини хвиль вакуумного ультрафіолету для фотохімічної обробки отримували при використанні водневої лампи 7 і вікон з фториду літію. Моделювання складу газу здійснювалося на базі стандартизованих сумішей. Час перебування газу в зоні опромінення змінювався за рахунок зміни витрати газу від 0,25 до 0,45 с. Зона опромінення – реактор 4 – це друга воднева лампа з вікном з скла з літій фториду.

Дослідження проводилися на лабораторній експериментальній установці (рис. 1).

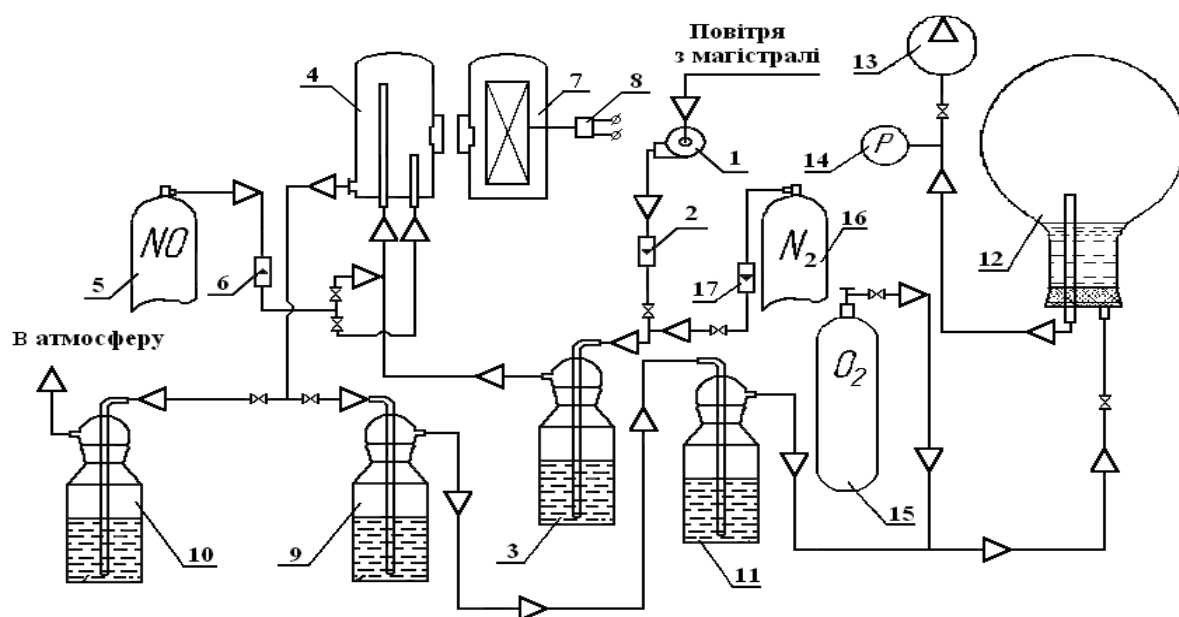
Газовий потік з балону 5 з монооксидом азоту через витратомір 6 подається в реактор 4 звідкільця повітряний потік скидається через санітарну склянку 10 в атмосферу. З метою проведення аналізу газ відбирається у поглинальні склянки 9 та 11 з 8-ми % KI , де відбувається поглинання NO_2 . Недоокиснений NO потрапляє в евакуйовану колбу 12. Сюди ж для його доокиснення додається кисень з балону 15, і отриманий NO_2 поглинається 8 % розчином KI . Вміст NO та NO_2 визначаються калориметричним методом в присутності реактиву Грісса.

Було проведено і розраховано результати досліджень для витрат газу та умов проведення експерименту за допомогою програми MathCad.

Проведено серію дослідів, де Нітроген (II) оксид потрапляв в зону опромінення разом з парою води і киснем та досліди, де Нітроген (II) оксид уникав опромінення за рахунок удосконалення реактору. Результати досліджень з безпосереднім опроміненням Нітроген (II) оксиду (табл. 2).

За даними таблиці 3 побудовано графік залежності ступеня вилучення Нітроген (II) оксиду від часу перебування в зоні опромінення.

Ряд дослідів з визначення ступеня окиснення Нітроген (II) оксиду при фотоактивації ультрафіолетовим опроміненням було проведено для



1 – компресор; 2, 6, 17 – витратоміри; 3 – поглинальна склянка з водою; 4 – реактор для обробки ультрафіолетом; 5 – балон з монооксидом азоту; 7 – ультрафіолетова лампа; 8 – джерело постійного струму; 9 – поглинальна склянка; 10 – санітарна склянка з H_2O_2 ; 11 – склянка Дрекслера з 8-ми % KI; 12 – евакуйована колба; 13 – вакуум-насос; 14 – манометр; 15 – балон з киснем; 16 – балон з азотом.

Рис. 1. Схема лабораторної експериментальної установки

Таблиця 2

Результати фотоактивації Нітроген (II) оксиду з використанням пари води

Витрати N_2 , см ³ /хв	Витрати NO , см ³ /хв	Час переб. в зоні опромінення, с	Без використання УФ			З використанням УФ			Ступінь Вилучення NO_x , а, %
			C_{NO_2} , мг/м ³	C_{NO} , мг/м ³	ΣNO_x	C_{NO_2} , мг/м ³	C_{NO} , мг/м ³	ΣNO_x	
2150	550	0,25	0,214	4,275	6,76	0	2,696	4,13	38,91
			0,38	5,96	9,52	0,08	3,61	5,62	40,96
			0,555	7,059	11,39	0	4,29	6,57	42,32
1710	550	0,29	0,35	5,03	5,38	0,57	1,96	2,54	52,78
1710	550	0,29	0,36	4,62	7,45	0,38	3,53	3,91	47,52
			0,38	6,61	10,52	0,19	3,28	5,23	50,28
1488	550	0,33	0,23	6,50	10,20	0,53	3,50	5,90	42,15
			0,34	5,36	8,56	0,39	3,06	5,09	40,54
			0,49	3,72	6,20	0,15	2,38	3,80	38,70
1290	550	0,37	0,79	8,65	14,06	0,49	6,35	10,23	27,24
			0,31	9,35	14,65	0,42	6,54	10,45	28,66
			0,24	9,87	15,38	0,32	7,26	11,45	25,55

газової суміші з паром води при суміжному потраплянні NO в зону опромінення (табл. 3).

На основі отриманих даних побудовано графік залежності ступеня вилучення Нітроген (II) оксиду від часу контактування суміші в зоні опромінення.

З метою визначення енергетичних витрат впливу ультрафіолетового опромінення на окиснення Нітроген (II) оксиду оксигеновмісними

радикалами було проведено ряд дослідів, при не потраплянні NO в зону багатократного опромінення (табл. 4).

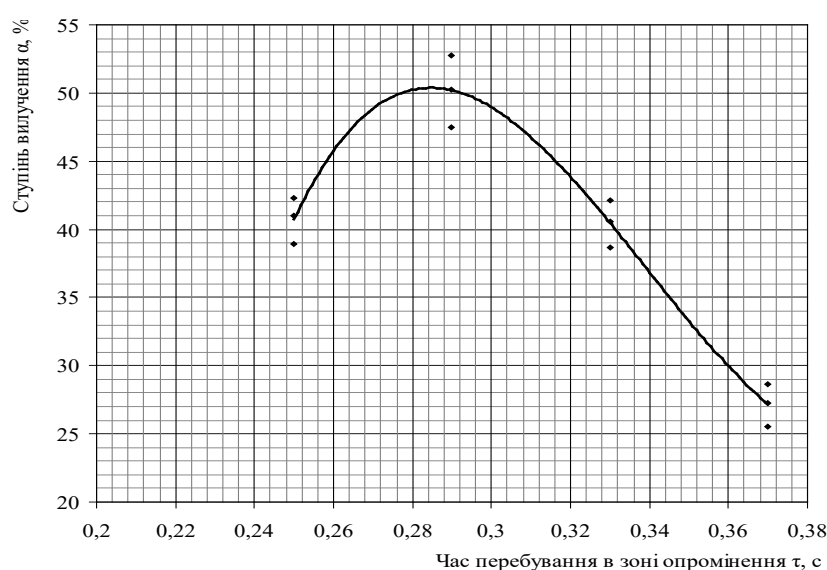
Порівнюючи дані ступеня вилучення різних сумішей з NO_x в таблиці 4 можна зробити висновок, що паро-повітряна суміш найбільш позитивно впливає на окиснення Нітроген (II) оксиду.

З рисунку 3 видно, що зі зменшенням часу перебування в зоні опромінення повітря

Таблиця 3

Результати фотоактивації Нітроген (II) оксиду з паро-повітряною сумішшю

Витрати повітря, см ³ /хв	Витрати NO, см ³ /хв	Час переб. в зоні опромінення, с	Без використання УФ			З використанням УФ			Ступінь вилучення NO _x , α, %
			C _{NO₂} , мг/м ³	C _{NO} , мг/м ³	ΣNO _x	C _{NO₂} , мг/м ³	C _{NO} , мг/м ³	ΣNO _x	
650	575	0,29	48,30	96,86	196,86	30,34	35,56	84,88	56,88
			32,66	80,93	156,79	17,06	39,66	77,89	50,32
			50,69	83,15	178,23	28,47	35,64	83,13	53,35
890	600	0,33	45,85	67,87	149,95	37,57	35,65	92,25	38,48
			57,88	57,26	145,70	41,37	33,13	92,18	36,73
			70,16	49,22	145,65	29,92	39,93	91,16	37,41
1330	645	0,47	95,88	216,83	428,44	78,99	178	352	17,84
			101,84	213,82	429,78	78,34	183,68	360,06	16,22
			107,80	210,80	431,11	73,04	190,36	365	15,33



$$y = -1425,841 + 13666,674 \cdot x - 41364,323 \cdot x^2 + 40651,042 \cdot x^3$$

Рис. 2. Залежність ступеня вилучення Нітроген(II) оксиду від часу перебування в зоні опромінення

Таблиця 4

Результати проведення експерименту при постійних затратах електроенергії 0,11774 кВт·год.

Суміш	Витрати, см ³ /хв	Час переб. в зоні опромінення, с	Без УФ			З УФ			Ступінь вилучення, %
			NO ₂	NO	Σ NO _x	NO ₂	NO	Σ NO _x	
Азот + вода	890	0,756	0	33,446	33,446	0	15,069	15,069	52,95
	1710	0,29	0,35	42,851	43,201	1,429	15,351	16,780	61,16
	2150	0,25	0	26,149	26,149	0,986	1,512	2,498	90,45
Сухе повітря	650	0,55	7,82	111,196	119,016	14,1	48,972	63,072	47,01
	890	0,45	16,32	2,629	18,955	21,393	21,520	42,913	55,83
	1330	0,34	2,39	83,742	86,132	0,285	34,314	34,599	60,16
	1725	0,25	2,523	123,942	126,465	0,96	54,979	55,939	55,77
Паро-повітряна	650	0,55	37,47	178,548	215,965	39,689	133,72	173,407	19,71
	890	0,45	16,27	99,410	115,68	26,496	61,178	87,674	24,21
	1330	0,34	75,23	201,601	276,829	18,9	112,15	131,049	52,66
	1725	0,25	1,536	1,206	2,742	0,465	104,62	105,088	61,26

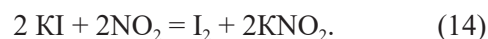
і пари води збільшується ступінь вилучення NO_x . Це пояснюється тим, що під дією квантів випромінювання, відбувається фотоліз молекули води з утворенням високореактивних гідроксильних радикалів і їх взаємодія з Нітроген (IV) оксидом.

Методика визначення оксидів Нітрогену.

При проведенні експерименту використовувалася методика, що дозволяє, як сумарно, так і окремо визначати концентрації NO та NO_2 в газах. Діапазон вимірювання (в перерахунку на NO_2) від 5 до 1000 мг/м^3 . Похибка вимірювання даного методу $\pm 18,3\%$.

Метод фотоколориметричний, заснований на реакції взаємодії NO_2 з KI та отриманням KNO_2 , який при дії на нього сульфаніловою кислотою, та α -нафтіламіном (реактив Грісса) утворює червоний азобарвник. У пробі міститься NO , який попередньо окиснюється до NO_2 .

Оптичну густину вимірюють на фотоколориметрі при довжині хвилі $(540 \pm 10 \text{ нм})$.



Дослідження процесу утворення оксигеновмісних радикалів ($\text{HO}^\bullet$, $\text{HO}_2^\bullet$) проводилося для двох систем:

Сухий газ: $\text{NO}-\text{NO}_2-\text{O}_2-\text{N}_2$;

Вологий газ: $\text{NO}-\text{NO}_2-\text{O}_2-\text{N}_2-\text{H}_2\text{O}$.

Час перебування газу в зоні опромінення змінювався за рахунок зміни витрати газу від 0,25 до 0,45 с. (табл. 5).

Вплив вакуумного ультрафіолету на утворення оксигеновмісних радикалів ($\text{HO}^\bullet$, $\text{HO}_2^\bullet$) у вологому газі.

Час перебування газу в зоні опромінення змінювався за рахунок зміни витрати газу від 0,45 до 0,25 с. (табл. 6).

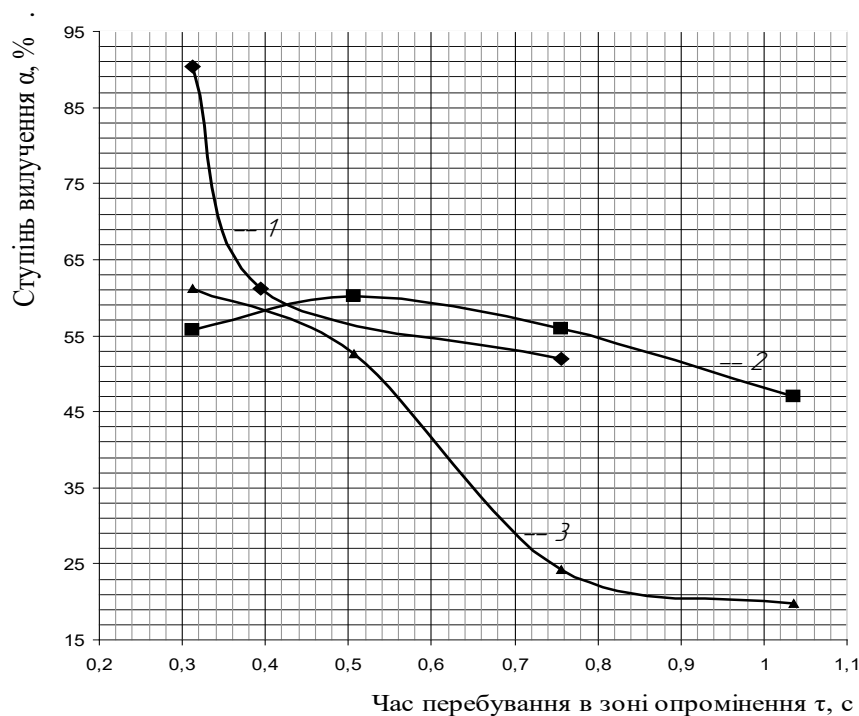


Рис. 3. Залежності ступеня вилучення NO_x від часу контактування реагентів в зоні опромінення

Таблиця 5

**Фотоокиснення Нітроген (II) оксиду низьких концентрацій
(0,08 % об. NO і 0,002 % об. NO_2) в системі $\text{NO}-\text{NO}_2-\text{O}_2-\text{N}_2$**

Час контакту, с	Концентрація NO , 10^{-3} , мг/м^3	Концентрація NO_2 , $\cdot 10^{-3}$, мг/м^3	Ступінь окиснення без УФ, %	Ступінь окиснення з УФ, %
0,45	0,205	0,867	0,079	26,61
0,303	0,537	0,384	0,093	31,80
0,35	0,499	0,4682	0,107	37,93
0,3	0,4808	0,5134	0,121	41,05
0,25	0,478	0,5935	0,134	44,67

**Фотоокиснення Нітроген (II) оксиду низьких концентрацій
(0,08 % об. NO і 0,002 % об. NO₂) в системі NO-NO₂-O₂-N₂-H₂O**

Час контакту, с	Концентрація NO, 10 ⁻³ , мг/м ³	Концентрація NO ₂ , ·10 ⁻³ , мг/м ³	Ступінь окиснення без УФ, %	Ступінь окиснення з УФ, %
0,45	0,864	0,2444	0,956	15,39
0,33	0,7526	0,4415	0,96	27,67
0,25	0,450	0,883	0,965	56,13
0,30	0,368	1,0124	0,97	64,19
0,25	0,0817	1,5504	0,978	72,52

Фотоокиснення вологого нітрозного газу дозволяє досягнути ступеня окиснення NO_x до 72,52 % (максимально до 90 % при оптимальному часі перебування газу в зоні опромінення). Подальше збільшення часу перебування газу в зоні контакту призводить до зниження ступеня окиснення, що пояснюється переважаючим впливом реакцій руйнування NO₂ до NO під дією вакуумного УФ.

Результати експериментів були основою для розробки реактора «світла тарілка» з багатополочним розміщенням УФ-ламп на верхній царзі абсорбційної колони виробництва розбавленої нітратної кислоти.

Висновки. 1. Отримані результати дозволяють запропонувати використання даного методу для технології очищення нітрозних газів шляхом їх окиснення під дією вакуумного УФ та поглинання для перетворення до нітратної кислоти. Високий вихід по реакціях (10) – (13) дає можливість до високого ступеня окиснення та практично повного перетворення NO_x в HNO₃.

2. Використання вакуумного УФ в процесах очищення, що містять газову суміш NO-NO₂-O₂-N₂-H₂O, можуть збільшити ступінь окиснення NO_x до 72,52 %.

Список літератури:

1. Технологія зв'язаного азоту. Підручник / Л. Л. Товажнянский, О. Я. Лобойко та ін; За ред. О. Я. Лобойка. Харків: НТУ «ХПІ», 2006. 536 с. <http://elib.chdtdtu.edu.ua/e-books/4694>.
2. Process for removing nitrogen oxides from gaseous mixtures. Pat. 4055624 USA, МКИ С 01 В 21/00 / Voshida Hiraguki, Saga Katumi; publ. 20.09.76.
3. Столяренко Г.С., Астрелін І.М. Гетерофазний озонний метод видалення оксиду азоту із димових газів. Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2000 №1 (9).
4. Вязовик В.М., Громико А.В., Столяренко Г.С. Озонна технологія зниження токсичності відхідних газів. Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту. 2001. № 4.
5. Hideo Okabe, Photochemistry of Small Molecules, John Wiley & Sons Inc, New York. 431 (1978).
6. Farmer A.I.D., Fabian W., Lewis B.R., Lohan K.H., Haddad G.N., J.Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 8. (1968).
7. Cottin M., Masanet J., Vermeil C., J. Chim. Phys. 63. (1966).
8. Столяренко Г.С. Озоно-радикальні процеси в технології денітрифікації газових потоків / Г.С. Столяренко: М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. у-т. Черкаси, Вертикаль, 2021–228 с., іл.

Stolyarenko H.S. SYNTHESIS AND USE OF OXYGEN RADICALS UNDER THE INFLUENCE OF VACUUM ULTRAVIOLET IN THE PRODUCTION OF NITRIC ACID

The article considers the theoretical foundations of the process of photocatalytic conversion of water and oxygen from the air into active compounds in the form of oxygen-containing radicals, which make it possible to synthesize low-concentrated solutions of nitric acid when interacting with Nitrogen oxides.

For the production of nitric acid, methods of catalytic thermal reduction of Nitrogen oxides are used, which, under the action of reducing agents, are converted into molecular nitrogen, and water and CO₂ are removed as by-products. Non-selective reduction is carried out by heterophase interaction of Nitrogen oxides with a metered amount of reducing agent (hydrogen, methane, Carbon (II) oxide, nitrogen-hydrogen mixture or petroleum gas). The following catalysts are used: platinum, rhodium, palladium, nickel, chromium and others.

The method of selective catalytic reduction of Nitrogen oxides to molecular nitrogen is based on the use of ammonia as a reducing agent. The problems of the process are: the possibility of secondary contamination of flue gases with ammonia; the formation of ammonium sulfite-bisulfite deposits, which leads to the shutdown of

the smoke exhauster and air heater. A negative factor inherent in all catalytic reduction processes is the high consumption of the reducing agent for the mutual destruction of bound nitrogen.

It is proposed to use wet cleaning methods based on a number of chemisorption processes, where the following are used as absorbents: water with various oxidants, solutions of carbonates, hydrocarbonates and urea. Reactions of Nitrogen oxides with solutions of oxidants are characterized by a high degree of purification, but are expensive at the stage of oxidant preparation and processing of reaction products.

More advanced developments are needed, both in terms of catalytic masses and in terms of cleaning systems. The mechanism of obtaining oxygen-containing radicals from water and atmospheric oxygen and elementary reactions of nitric acid synthesis are proposed. The research methodology is presented, the principle of operation of the experimental setup using two hydrogen lamps is presented. One of the lamps is a source of ultraviolet radiation, and the second is a reactor for studying the oxidation and absorption of NO. The classification of ultraviolet radiation categories depending on the wavelength range is presented, which made it possible to choose the optimal conditions for the process and choose the composition of quartz glass (LiF) for conducting experiments. The method of determining nitrogen oxides using Griess reagent is presented. The results of experimental studies under different conditions of acid formation (HNO_3) are presented. All calculations were carried out using the MathCad program.

The obtained experimental data results were used in the development of the design of the ultraviolet irradiation reactor: the material for using quartz glass (LiF); the dimensions of the reaction volume; the residence time of the gas mixture in the reaction volume of the reactor.

Key words: radical, ultraviolet, spectrum, Nitrogen oxides, nitric acid production technologies.