



СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра прикладної екології  
Спеціальність 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Остапенко Валерії Володимирівни  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Група ТС-71

1. Тема випускної роботи: Розробка технології утилізації нітрозних газів
2. Вихідні дані: Статистичні дані Державної служби статистики України, законодавчі акти щодо регулювання питань охорони праці, наукові статті та інші літературні джерела.
3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:
  1. Основні законодавчі акти в галузі.
  2. Механізми утилізації нітрозних газів.
  3. Статистичні данні державної служби статистики України.
4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2, 3	4, 5	6, 7	8	9
1	Огляд літератури	+					
2	Розділ 1		+				
3	Розділ 2			+			
4	Розділ 3				+		
5	Розділ 4					+	
6	Оформлення, захист						+

5. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 2021 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

завідувач кафедри Пляцук Л.Д.  
(посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 20 найменувань. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 47 сторінок, у тому числі 2 таблиці, 11 рисунків, список використаних джерел становить 3 сторінки.

*Мета роботи* – проведення аналізу методів утилізації нітрозних газів.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та вирішено такі завдання:

- аналіз джерел утворення нітрозних газів;
- огляд впливу нітрозних газів на навколишнє середовище;
- огляд технологій та методів утилізації нітрозних газів;
- надання рекомендацій та вибір пріоритетних напрямків утилізації.

*Об'єкт дослідження* – технології та методи утилізації нітрозних газів.

*Предмет дослідження* – нітрозні гази.

Методи дослідження – у роботі використовувалися статистичні методи аналізу даних, кореляційно-регресивний аналіз, екологічні дослідження факторів впливу нітрозних газів на компоненти довкілля.

У кваліфікаційній роботі наданий опис джерел утворення нітрозних газів та їх впливу на навколишнє середовище, проаналізовані статистичні дані, щодо утворення азотовмісних сполук, опис методів утилізації нітрозних газів.

*Ключові слова:* НІТРОЗНІ ГАЗИ, АЗОТНА КИСЛОТА, ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ, ПАРНИКОВІ ГАЗИ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 Джерела утворення нітрозних газів.....	6
Розділ 2 Статистика викидів азотовмісних газів в Україні.....	8
2.1 Проблематика забруднення довкілля нітрозними газами.....	10
2.2 Проведення кореляційно-регресивного аналізу взаємозв'язків.....	13
Розділ 3 Методи утилізації нітрозних газів .....	19
3.1 Методи утилізації низько концентрованих нітрозних газів .....	20
3.2 Очищення від високо концентрованих та середньо концентрованих нітрозних газів.....	24
3.3 Утилізація нітрозних газів шляхом адсорбції з промисловим отримання аміаку.....	28
3.4 Методи утилізації з утворенням продукту – азотної кислоти .....	30
Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	36
Висновки .....	41
Перелік джерел посилань.....	43
Додатки.....	46

Підп. и дата	
Инь. №дубл.	
Взаим. инв. №	
Підп. и дата	
Инь. №подл.	

<b>ВСТУП</b> <i>ТС 17510047</i>					
<i>Из</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>	
<i>Розроб.</i>	<i>Остапенко</i>				
<i>Перев.</i>	<i>Пляцук</i>				
<i>Н.Контр</i>	<i>Васькін</i>				
<i>Затв.</i>	<i>Пляцук</i>				
<i>Розробка технології утилізації нітрозних газів</i>			<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
				4	47
			<i>СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС-71</i>		

Процвітання ери виробничої діяльності людства, активного розвитку індустріального потенціалу, з широким профілем розвитку енергетики, зі збільшенням та покращенням технологій агропромислового комплексу та транспорту, так чи інакше має свій вплив на навколишнє середовище. На жаль, негативного впливу багатократно більше ніж позитивних впливів. Науково-технічна революція створила величезні можливості для підкорення різних сил природи, але в той же час для її забруднення і руйнування.

Промисловий прогрес напряду впливає на клімат та на населення планети, так як мають велику кількість викидів у біосферу чим порушують природні баланси.

Дослідження стверджують, що кожного року 50 млн тонн газових викидів потрапляють до атмосфери Землі в результаті антропогенної діяльності, при чому 5 млн з них є оксидами азоту (NO<sub>x</sub>) [1].

Оксиди азоту є головними причинами гострих захворювань дихальних шляхів та сильних отруєнь. Їх постійний вплив у концентраціях еквівалентних гранично допустимим нормам призводять до серйозних захворювань серця, розладів роботи шлунку та дихальної системи людини.

Оксиди азоту та оксиди вуглецю у великій кількості містяться у вихлопних газах транспортних засобів, які й спричиняють захворювання систем дихання та кровообігу.

Оксиди азоту також причетні до утворення кислотних опадів (NO та NO<sub>2</sub>), які несуть серйозні збитки для всіх живих організмів та рослин, а також для споруд, руйнуючи механічні конструкції та апарати.

Тому, проблематика утилізації азотовмісних газів стоїть особливо гостро та потребує нагальних рішень у сфері утилізації нітрогеновмісних газів.

Методи дослідження – у роботі використовувалися статистичні методи аналізу даних, кореляційно-регресивний аналіз, екологічні дослідження факторів впливу нітрозних газів на компоненти довкілля.

Инва.Неподл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Инва. №дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 17510047	Арк.
						5





## РОЗДІЛ 2 СТАТИСТИКА ВИКИДІВ АЗОТОВМІСНИХ ГАЗІВ В УКРАЇНІ

Розглянемо статистику викидів азотовмісних сполук в Україні. Згідно з даними Державної служби статистики прослідковується чітка тенденція до зниження викидів  $\text{NO}_x$  (таблиця А.1, додаток А та рисунок 2.1–2.2) [20].



Рисунок 2.1 – Графік викидів сполук азоту за 2008 – 2020 роки

Як видно з рисунку 2.1 починаючи з 2013–2014 року починається паління викидів азотовмісних сполук в Україні. Починаючи з 2017 року цей показник став більш стабільним, але пряма тенденція до зниження викидів прослідковується та буде продовжуватись у найближчому майбутньому.

Ив.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.№	Ив.№дубл.
Подп. и дата	

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510047

Арк.

8



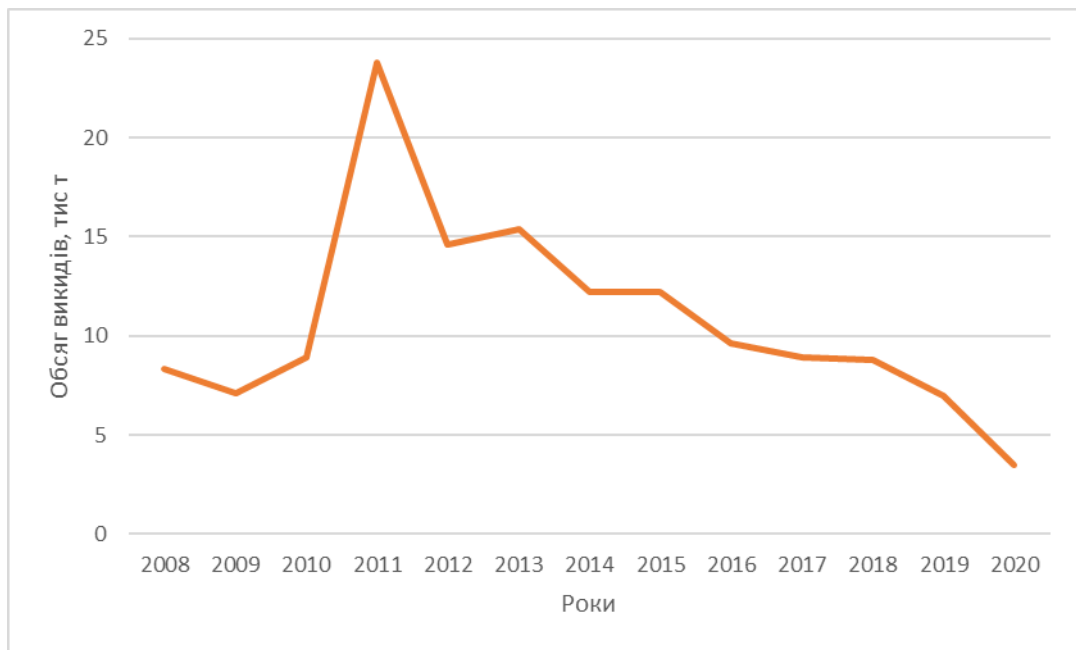


Рисунок 2.2 – Графік викидів окису азоту за 2008–2020 роки

З приводу викидів NO (рисунок 2.2) можна сказати те ж саме. Чітка тенденція до зниження викидів починаючи з 2011 року та з перспективою на майбутнє.

Але ці прогнози не на стільки оптимістичні, як можна відмітити з першого погляду, тому що значна частка зниження припадає на спад промислових потужностей країни та не врахування у статистичні показники анексованих територій [20].

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.№	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дат
------	------	----------	-------	-----

ТС 17510047

Арк.

9

## 2.1 Проблематика забруднення довкілля нітрозними газами

Забруднення повітря є результатом викидів забруднюючих речовин з різних джерел. Причинність цього явища знаходиться у природі земної атмосфери. Тому забруднення передаються повітрям від джерела до місця руйнівного впливу, вони будуть змінюватися в атмосфері, включаючи хімічне перетворення певних забруднювачів в інші ще більш небезпечні речовини.

Постійний рівень забруднення атмосферного повітря визначає ступінь руйнівного впливу на територію. Можна сказати, що ступінь забруднення повітря залежить від кількості та якості викидів [1].

У загальному плані концепція забруднення атмосфери включає значне число дій й явищ, що ведуть до погіршення вихідної, природної якості її. У більше вузькому змісті, що відповідає концепції, погодженої в рамках країн, що входять у систему Комекон і ряду інших, в яких під забрудненням атмосфери розуміється як викиди твердих, рідких і газоподібних забруднюючих речовин.

Відповідно до концепції захисту атмосфери, прийнятої деякими промислово розвиненими країнами (наприклад, Німеччиною), вважається, що забруднення повітря прямо чи опосередковано вносить будь-яку речовину, яка вплине на якість та зв'язок зовнішнього повітря та завдасть шкоди навколишньому середовищу [4].

Відповідно до "Конвенції по великим міждержавним забрудненням повітря", крім викидів твердих частинок, забруднення повітря також вважається причиною викидів енергії. Отже, вібраційні та радіаційні теплові викиди (не тільки радіоактивне, але й тепло електромагнітного випромінювання, такі як мікрохвилі, радіолокатори, надвисока частота, тобто тепло від високовольтних ліній тощо) можуть розглядатися як види забруднення.

Більша частина діоксиду сірки (70 %), оксидів азоту (56 %) та пилу (52 %) викидається в атмосферу підприємств електроенергетики, газу та води, хімічна

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.№	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	ТС 17510047	Арк.
						10

промисловість. Вуглеводні та леткі органічні сполуки (74 %) – гірничодобувна промисловість; окис вуглецю (70 %) – виробничі компанії.

Хоча скид забруднюючих речовин останнім часом зменшився, що в основному пов'язано із закриттям багатьох підприємств, в деяких промислових районах (особливо Донецько-Придніпровському районі), скид забруднюючих речовин все ще значно перевищує гранично допустимі норми.

Особливе занепокоєння викликають понад 1000 небезпечних хімічних компаній, більшість з яких розташовані в Донецькій та Луганській областях. За останні десять років кількість народження дітей з відхиленнями в регіонах подвоїлася. Але нажали й в інших областях - не набагато краща атмосфера.

Через забруднення шкідливих речовин у вихлопних газах двигунів внутрішнього згоряння весь регіон, особливо великі міста, став зоною екологічної катастрофи для людей. Проблема шкідливих викидів двигунів стала більш серйозною через постійне збільшення вживаних автопарків та консолідацію потоку руху [4].

Отже, наразі особливо гостро стоїть питання утилізації парникових газів, включаючи нітрогеновмісні.

Також були проаналізовані статті наукометричної бази даних Scopus на дану тематику, в яких спостерігається чітка тенденція до збільшення наукового інтересу в сфері утилізації нітрогеновмісних парникових газів.

Аналіз проводився за ключовими словами «utilization», «nitrogen», «gases» та налічував більш ніж 3800 статей.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.№	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	ТС 17510047	Арк.
						11

Documents by year

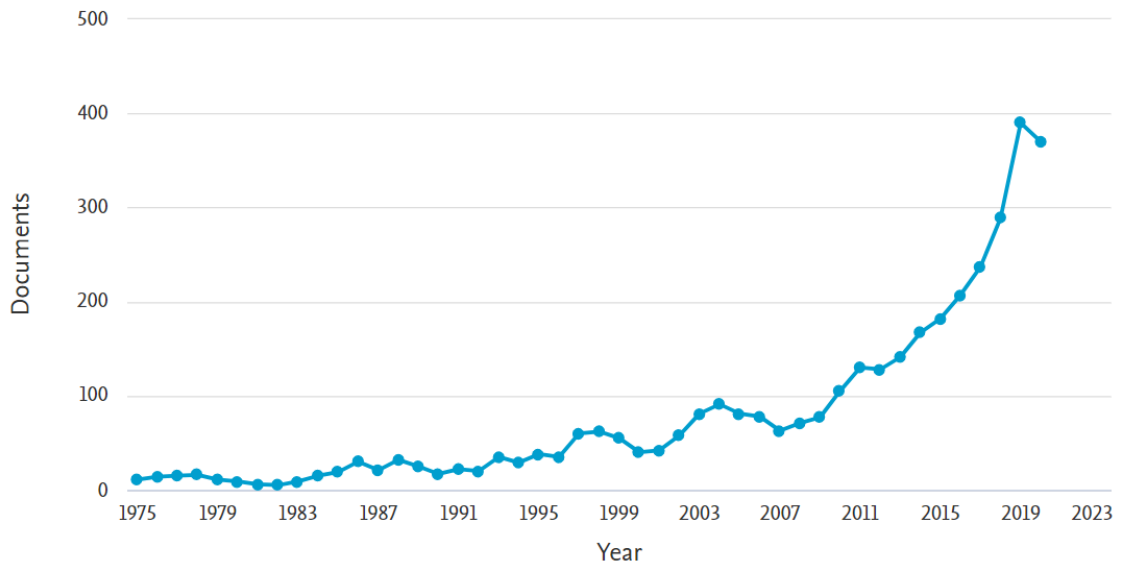


Рисунок 2.1 – Статистика публікаційної активності за ключовими словами «utilization», «nitrogen», «gases» по роках

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

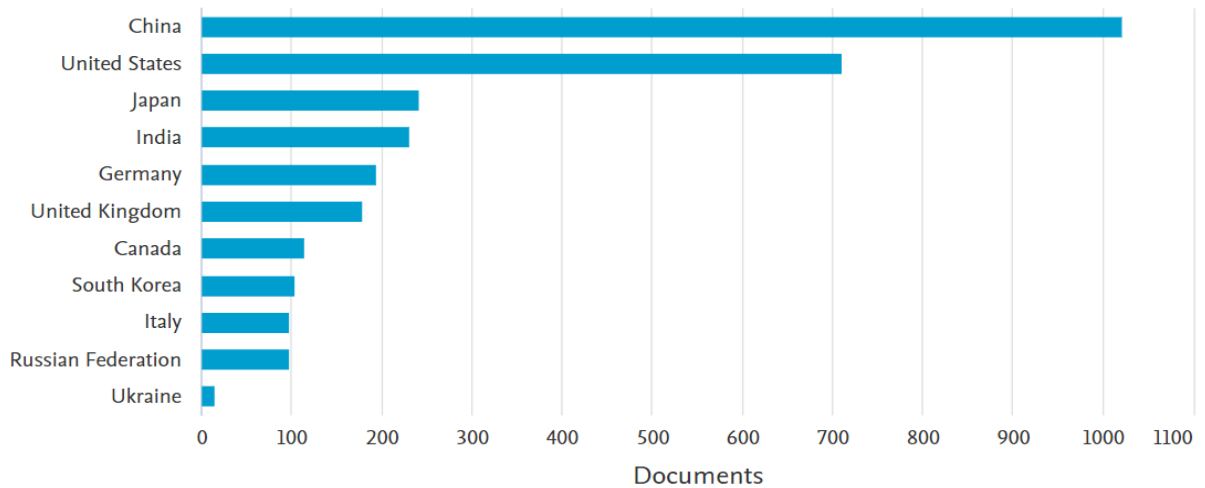


Рисунок 2.2 – Статистика публікаційної активності за ключовими словами «utilization», «nitrogen», «gases» в різних країнах

Подп. и дата	
Инв. №дубл.	
Взаим. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. №подл.	

Из	Лист	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----



Ознака, характеризуюча результати дії фактору (факторів), розглядається в якості результативної, а ознака, характеризуюча причинно-наслідкові зв'язки – як факторна.

В нашому випадку факторними ознаками є пасажироперевезення залізничним (X1), автомобільним (X2) та авіаційним (X3) транспортом. Результативні ознаки це викиди оксиду азоту (Y1). Аналіз був проведений за допомоги програмного забезпечення Microsoft Excel. Порядок проведення кореляційно-регресивного аналізу наступний. По-перше, вносимо вихідні дані до програми та проводимо аналіз даних.

	X1	X2	X3	Y
	Залізничний	Автомобільний	Авіаційний	NOx, тис. т
2000	498683,0	2557514,6	1164,0	120,6
2001	467825,3	2722001,6	1289,9	123,9
2002	464810,4	3069136,3	1767,5	126,3
2003	476742,4	3297504,5	2374,7	171,9
2004	452225,6	3720326,4	3228,5	180,2
2005	445553,1	3836514,5	3813,1	180,2
2006	448421,7	3987982,0	4350,9	189,3
2007	447093,7	4173033,7	4928,6	305,3
2008	445465,7	4369125,5	6181,0	311,1
2009	425974,8	4014035,2	5131,2	282,9
2010	427240,6	3726288,6	6106,5	293,2
2011	429784,9	3611829,9	7504,8	300,0
2012	429115,3	3450173,1	8106,3	302,1
2013	425216,9	3343659,5	8107,2	300,1
2014	389305,5	2913318,1	6473,3	253,3
2015	389794,1	2250345,3	6302,7	219,2
2016	389057,6	2024892,9	8277,9	152,6
2017	164941,6	2019324,9	10555,6	153,8
2018	157962,4	1906852,1	12529,0	156,9

Рисунок 2.4 – Перший етап кореляційно-регресивного аналізу

Спочатку проводимо кореляційний аналіз для визначення лінійних коефіцієнтів кореляції. Цей показник буває від  $-1$  до  $+1$ . За його від'ємного значення наявний обернений зв'язок, а за додатного – прямий.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.№	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дат
------	------	----------	-------	-----

Прийнято вважати, що при умовах коли  $0 < r < |0,3|$  зв'язок практично відсутній;  $|0,3| < r < |0,5|$  – зв'язок слабкий;  $|0,5| < r < |0,7|$  – зв'язок середній;  $|0,7| < r < |0,9|$  – зв'язок сильний;  $r > |0,9|$  – зв'язок дуже сильний зв'язок.

	X1	X2	X3	Y
X1	1			
X2	0,597409	1		
X3	-0,82214	-0,35727	1	
Y	0,158855	0,619201	0,306569	1

Рисунок 2.5 – Другий етап проведення кореляційно-регресивного аналізу

Отримаємо:

– практично відсутній зв'язок між залізничними пасажироперевезеннями та викидами  $NO_x$ ;

– прямий зв'язок середньої сили між автомобільними пасажироперевезеннями та викидами;

– слабкий прямий зв'язок з авіатранспортом.

Проводимо регресійний аналіз даних для отримання коефіцієнту детермінації та математичного рівняння, що описує зв'язок між використанням транспортних засобів та обсягами викидів оксидів нітрогену (рисунок 2.6).

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.№	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дат
------	------	----------	-------	-----

ТС 17510047

Арк.

15

Вывод итогов							
<i>Дисперсионная статистика</i>							
Множественный коэффициент корреляции	0,903278						
R-квадрат	0,815911						
Нормированный коэффициент корреляции	0,779093						
Стандартная ошибка	33,71312						
Наблюдения	19						
<i>Дисперсионный анализ</i>							
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>значимость F</i>		
Регрессия	3	75561,93	25187,31	22,16072	9,12E-06		
Остаток	15	17048,62	1136,575				
Итого	18	92610,55					
<i>Коэффициент корреляции</i>							
<i>Статистика</i>	<i>Значение</i>	<i>нижние 95%</i>	<i>верхние 95%</i>	<i>нижние 95,0%</i>	<i>верхние 95,0%</i>		
У-пересеч	-332,152	85,29569	-3,89412	0,001438	-513,955	-150,348	-513,955
Переменная 1	0,000562	0,000185	3,03684	0,008324	0,000167	0,000956	0,000167
Переменная 2	5,39E-05	1,33E-05	4,046636	0,001054	2,55E-05	8,23E-05	2,55E-05
Переменная 3	0,025695	0,004723	5,440306	6,83E-05	0,015628	0,035761	0,015628

Рисунок 2.6 – Результати проведення кореляційно-регресивного аналізу

Отримано коефіцієнт детермінації R-квадрат, що дорівнює – 0,816, це свідчить про доволі тісний прямий взаємозв'язок між показниками.

Проводимо розрахунок модельної результативної ознаки  $Y_m$  та порівнюємо розбіжність між вихідними даними. Чим менша буде розбіжність модельного значення та вихідних даних – тим тіснішим буде виявлений зв'язок (рисунок 2.7).

Ив. №подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Ив. №дубл.	Подп. и дата						Арк.
										16
					ТС 17510047					
Ив. №подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Ив. №дубл.	Подп. и дата	Ив. №подл.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	



	X1	X2	X3	Y	Ym	Y-Ym
	Залізничний	Автомобільний	Авіаційний	NOx, тис. т		
2000	498683,0	2557514,6	1164,0	120,6	115,5	5,1
2001	467825,3	2722001,6	1289,9	123,9	110,4	13,5
2002	464810,4	3069136,3	1767,5	126,3	139,8	-13,5
2003	476742,4	3297504,5	2374,7	171,9	174,6	-2,7
2004	452225,6	3720326,4	3228,5	180,2	205,9	-25,7
2005	445553,1	3836514,5	3813,1	180,2	223,7	-43,5
2006	448421,7	3987982,0	4350,9	189,3	247,4	-58,1
2007	447093,7	4173033,7	4928,6	305,3	271,7	33,6
2008	445465,7	4369125,5	6181,0	311,1	313,9	-2,8
2009	425974,8	4014035,2	5131,2	282,9	256,6	26,3
2010	427240,6	3726288,6	6106,5	293,2	267,1	26,1
2011	429784,9	3611829,9	7504,8	300,0	298,7	1,3
2012	429115,3	3450173,1	8106,3	302,1	305,2	-3,1
2013	425216,9	3343659,5	8107,2	300,1	297,3	2,8
2014	389305,5	2913318,1	6473,3	253,3	211,5	41,8
2015	389794,1	2250345,3	6302,7	219,2	171,5	47,7
2016	389057,6	2024892,9	8277,9	152,6	210,3	-57,7
2017	164941,6	2019324,9	10555,6	153,8	143,7	10,1
2018	157962,4	1906852,1	12529,0	156,9	185,0	-28,1

Рисунок 2.7 – Порівняння результативної ознаки

Отримані розрахункові дані мають невелику розбіжність з вихідними значеннями. Результати перевірки свідчать про наявність доволі тісного зв'язку між обсягами викидів оксидів азоту та транспортними перевезеннями пасажирів.

Отримані результати підтвердили тісний зв'язок між використанням транспорту та викидами небезпечних оксидів азоту в атмосферне повітря. Найбільшого впливу на викиди завдають автомобільні транспортні засоби.

Для зниження обсягів викидів від пересувних джерел необхідно запровадити до екологічної політики України наступні заходи:

- встановлення пріоритетів транспортних засобів та стимулювання використання електричних видів транспорту;
- використання більш екологічних та чистих видів пального (наприклад, різні види біопалива);
- введення регулярного та незалежного контролювання технічних станів транспорту;

Подп. и дата  
 Инв. №дубл.  
 Взаим. инв. №  
 Подп. и дата  
 Инв. №подл.

- стимулювання розвитку велосипедної інфраструктури
- створення зон, вільних від автомобільного руху транспорту
- створення зелених екранів міста для декарбонізації викидів авторанспорту;
- покращення якості покриття та загального стану доріг.

Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.№	Инь.№дубл.	Подп. и дата						
Инь.№подл.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	<i>ТС 17510047</i>					Арк.
										18



А отже, всі вище зазначені фактори вказують на високу вартість даного процесу. Після каталітичного очищення в повітря потрапляє високотоксичний газ CO (0,10–0,15 %). Даний метод можна використовувати для вловлення сполук нітрогену лише за умови слабких концентрацій (до 0,5 % NO чи NO<sub>2</sub>) у газовій суміші, при цьому концентрація кисню повинна становити – 4–5 %.

Різна ступінь окиснення речовин в нітрозних газах – є основною перешкодою для підбору методу очищення.

За ступенем окиснення нітрозні гази класифікують на [7–9]:

- високо окиснені, з вмістом NO чи NO<sub>2</sub> від 70 % від загального обсягу газової суміші;
- середньо окиснені гази азоту мають вміст NO чи NO<sub>2</sub> в межах 45 – 60 %;
- слабо окиснені гази, мають вміст NO чи NO<sub>2</sub> до 45 %.

### 3.1 Методи утилізації низько концентрованих нітрозних газів

Дуже важливою є очистка слабо окиснених газів, через те, що слабо окиснені гази нітрогену не поглинаються водними розчинами деяких видів солей, що відміну від високо очищених газів, що значно здорожує та ускладнює процеси утилізації.

Очищення нітрозних газів в механічних абсорберах з використанням лужних сорбентів. Розглянемо основні умови та необхідне технічне забезпечення для проведення очистки газів рідкими сорбентами. Для максимально повного та комплексного вловлення азоту, необхідна концентрація його окисів у газовій суміші не менше 50–55 % від загальної маси. Основними апаратами для їх вловлення вважаються механічні роторні апарати (вертикальної або горизонтальної конфігурації) або абсорбери, розпилюючого типу [9].

Ив.Неподл.	
Подп. и дата	
Взаим. инв. №	
Инв. №дубл.	
Подп. и дата	

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510047

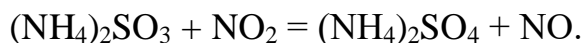
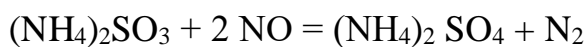
Арк.

20

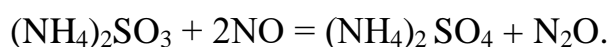




Процес очищення газів від оксидів азоту (при малому ступені окислення) розчином сульфїту амонїю базується на наступних хїмїчних реакцїях реакцїях [5]:



При процесї поглинання NO розчинами амонїйного сульфїту виходить нестїйка багатокомпонентна сїль. Стїйкїсть солї пїдтримується лише в лужному середовищї, а при кислому середовищї розкладається на амонїйний сульфат та окис азоту:



Таким чином, в результатї очищення газу від оксидів азоту утворюється сульфат амонїю і закис азоту.

Розглянемо очищення нїтрозних газів за допомогою окислення і абсорбцїї оксидів азоту водними розчинами окислювачїв.

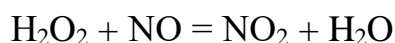
Основою методу є взаємодїя окисїв азоту з водними розчинами, такими як: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>, KClO<sub>3</sub>, KClO, NaClO, NaClO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KI, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> й інші, якї отримуються в процесах доокислення оксиду азоту. В процесах азотна кислота вступає в реакцїю з побїчними продуктами розпаду, до того ж утворюючи солї азотної кислоти.

Швидкїсть окислення NO рїдкими окиснювачами на один-два порядки бїльше, нїж швидкїсть окислення окису азоту киснем в газовїй фазї. Однак рїдкї окисники мають вїдносно високу вартїсть, тому застосування їх може бути виправдане лише в окремих специфїчних умовах.

Очищення газїв від оксидїв азоту водними розчинами перекису водню

Застосування окису азоту для окислення слабкого водного розчину перекису водню не забруднює розчин побїчними продуктами.

Взаємодїя перекису водню з окисом азоту в загальному виглядї може бути представлено рївняннями:



Инь.Неподл.	Подп. и дата
Взаим.инв.№	Инь.Недубл.
Подп. и дата	

Изь	Лист	№ докум.	Пїдп.	Дат
-----	------	----------	-------	-----

ТС 17510047

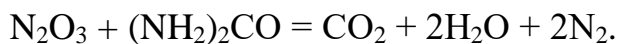
Арк.

23





В процесі поглинання оксидів азоту розчином аміаку відбувається наступне їх відновлення до форм N<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O за наступним рівнянням:



Розглянемо процес адсорбції оксидів азоту за допомогою твердих сорбентів. За допомогою твердих сорбентів можна досягти доволі високі результати в очистці нітрозних газів, при цьому при десорбціонуванні нітрозних газів можна отримати концентрований окис азоту, який можна використовувати в хімічній галузі.

До сьогодні активоване вугілля вважалось найбільш ефективним природним твердим сорбентом, але через ряд наступних недоліків його популярність значно знизилась:

- швидке окиснення в процесах десорбції та сорбції, що несе ризик самозаймання сорбенту;
- невисока фізична міцність;
- порівняно невисокі адсорбційні властивості в порівнянні з новітніми розробками у сфері сорбентів.

Найкращими вважаються сорбенти з синтетичних цеолітів, а також алюмосилікат, так як вони придатні для довгого процесу адсорбування оксидів азоту.

Відносно алюмосилікату можна запевнити, що він гарний поглинач оксидів азоту, через можливість доокиснення окисів азоту, що можна використовувати при утилізації середньо концентрованих азотовмісних газів. До того ж він має відмінні показники механічної міцності та термостійкості.

Розглянемо, ще один метод очищення газів від оксидів азоту та інших домішок за допомогою торф'яно-лужних сорбентів з отриманням в результаті продукту – торф-азотних добрив.

Для проведення такої очистки нітрозних газів необхідно використовувати апарати з киплячим шаром та комбіновані з торфом сорбенти (склад: торф та вапно).

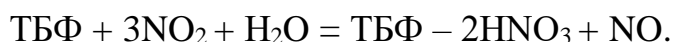
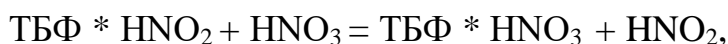
Инва.Неподл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Инва. Неодубл.
Взаим. инв. №	Подп. и дата
Инва.Неподл.	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 17510047	Арк.
						25



практично не змінюється, за умови загальної кислотності середовища більше 12–13 %.

При збільшенні кислотності також спостерігається загальне та значне зниження швидкості абсорбції, яке напряму пов'язане з процесом виділенням  $\text{NO}_2$ , це означає й зменшення рушійної сили процес. Можемо переконатись у цьому в наступній реакції [11]:



Ще одним не менш важливим фактором, від якого залежить процес очищення нітрозних газів методом адсорбції – це лінійна швидкість газу. Доказано, що при підвищення швидкості газу пропорційно зменшується ступінь абсорбції за рахунок підвищення коефіцієнта масопередачі газів.

Вплив температури вважається незначним для процесу адсорбції при сорбенти ТБФ в барботажному абсорбері незначні.

Зіставлення способів очищення нітрозних газів за допомогою ТБФ і високотемпературної каталітичного очищення показує, що економія сировинних витрат за першим методом набагато нижче і даний метод перспективний.

Можемо сказати в підсумок декілька заключних моментів з вищезазначеної інформації про використання торф'яно-лужних сорбентів:

- підвищення тиску в адсорбері значною мірою впливає на процес поглинання оксидів азоту ТБФ збільшуючи його ефективність;
- температура майже не впливає на перебіг процесу.
- при стабільній лінійній швидкості газу з помірним підвищенням тиску в абсорбційній колоні зростає ефективність вловлювання нітрозних газів.

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.№	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дат
------	------	----------	-------	-----

ТС 17510047

Арк.

27

### 3.3 Утилізація нітрозних газів шляхом адсорбції з промисловим отримання аміаку

Розглянемо досить новітній комплексний метод адсорбції нітрозних газів, який базується на властивостях конкретних твердих часинок, які велику сорбційну питому поверхню для вловлення та затримання азотовмісних газів. Процес адсорбції здійснюється пропусканням перероблюваного газу крізь поглинаючий шар, розміщений в адсорбері. Після поглинання поглинач підлягає прогріванню для відділення адсорбованих вуглеводів [8].

Нітрозні гази що містять оксиди азоту з концентрацією до  $2 \text{ г/м}^3$  і температурою  $19\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$  з попередніх етапів доокиснення спрямовуються до топки, що складається з камер змішування і спалювання.

У камері змішування нітрозні гази нагріваються за рахунок змішування з топковими газами до температур від  $450$  до  $580 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура газів в камері спалювання повинна становити не менше  $870\text{--}1100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Повинен бути постійний доступ повітря в топку для підтримання процесів горіння. У передній частині топки розміщені два газових пальники, які було встановлено в самому центрі завихрювачів.

Топка з'єднується з реактором газоходів призначений для викиду топкових газів в атмосферне повітря під час розпалу топки і виведення її на робочий режим. В топку повинен бути встановлений встановлено вихлопний клапан.

Нітрозні гази, що гріються в топці, змішуються з газоподібним аміаком в змішувачі (газохід перед реактором) і спрямовуються в реактор з температурою  $265\text{--}297 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вертикально в середині реактора, у вигляді двох циліндрів, що вставлені один в іншій, розташовані металеві каркаси, обтягнуті сіткою з нержавіючої сталі.

Газоподібний аміак виробляється шляхом нагрівання рідкого аміаку у випарник. Заповнення випарника аміаком виконується заправником безводного

Инва.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.№	Инва.№дубл.
Подп. и дата	

Изва	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	ТС 17510047	Арк.
						28











Недоліком відомих способів є підвищені витрати енергії внаслідок того, що по системі проходить до 70 % азоту, який не бере участі в жодній стадії одержання азотної кислоти.

Найбільш близьким технічним рішенням є спосіб одержання азотної кислоти з використанням кисню в кількості 30–50 % об з розбавленням аміачно-кисневої суміші рециркулюючими відпрацьованими газами після водної абсорбції оксидів азоту [15].

В порівнянні з описаними вище способами вказаний спосіб дозволяє зменшити кількість азоту в системі, збільшити ступінь перебігу реакції окиснення NO до NO<sub>2</sub> та ступінь абсорбції оксидів азоту та відповідно зменшити питомі витрати аміаку на тонну азотної кислоти.

Недоліками цього способу є [15]:

- підвищені витрати енергії внаслідок циркуляції в системі до 50 % азоту;
- незначна кількість питомих викидів в атмосферу;
- оксиди азоту окиснюються 95–99 %-ю сумішню кисню з наступним направленням непоглиненого кисню, що міститься в продувочних газах, до інших технологічних процесів.

Основні кислотоутворюючі процеси відбуваються у холодильних конденсаторах на 80 %, решта нітрозних галів адсорбується.

При цьому відношення кисню до аміаку в реакторі дорівнює 8/10 та кількість продувочних газів складає 8–10 об %.

До принципів нововведень даного методу можна віднести одержання цінної високоякісної кислоти з нітрозних газів, що також має позитивний побічний ефект, який проявляється у зменшенні енерговитратності процесу через максимальне сповільнення реакцій розкиснення азотної кислоти. Також позитивним ефектом є збільшення кількості виходу азотної кислоти.

На рисунку 3.2 представлена принципова схема здійснення запропонованого способу одержання азотної кислоти.

Ив. Неодл.	Подп. и дата
Взаим. инв. №	Ив. Неодубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Ив. Неодл.	Подп. и дата	Ив. Неодубл.	Подп. и дата	Ив. Неодубл.	Подп. и дата
Из	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	

ТС 17510047

Арк.

33













– систематичне проведення роз'яснювальних робіт серед співробітників станції про заходи щодо методів та необхідності запобігання захворюваності на хворобу COVID-19.

Инев.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.№	Инев.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510047

Арк.

40



## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи, було всебічно розглянуто питання методів утилізації нітрозних газів, а саме:

1. Був проведений аналіз джерел утворення азотовмісних газів. До яких належать:

- газу, які утворили в результаті окиснення органічних або аміачних сполук;
- димові газу теплоелектростанцій;
- газу термічної переробки палив (коксівий газ).

2. Був проведений огляд можливих впливів нітрозних газів на навколишнє середовище.

3. Проведений огляд статистичний аналіз даних викидів азотовмісних сполук. Проведений кореляційно-регресивний аналіз залежності між викидами транспортних засобів та загальними обсягами викидів нітрозних газів. Були отримані наступні результати залежностей:

- практично відсутній зв'язок між залізничними пасажироперевезеннями та викидами  $\text{NO}_x$ ;
- прямий зв'язок середньої сили між автомобільними пасажироперевезеннями та викидами;
- слабкий прямий зв'язок з авіатранспортом.

Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.№	Инь.№дубл.	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.№	Инь.№дубл.	Подп. и дата	TC 17510047	Арк.
Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.№	Инь.№дубл.	Подп. и дата		41





10. Нурмуродов Т.И., Мардонов У.М., Турсунова И.Н. Использование диоксида азота в переработке фосфоритов Центрального Кызылкума // Сб. тез. Междунар. конф. «Ресурсосберегающие и современные технологии в горнодобывающих отраслях». – Бишкек: Кирг.-росс. русскославянский ун-т, 2004.

11. Ошакбаев М.Т. Активация и переработка низкосортного фосфорсодержащего сырья // Химическая технология. Контроль и управление. – 2006. – № 1. – С. 12-17.

12. Получение аммофосфата из рядовой муки и термоконцентраты фосфоритов Центральных Кызылкумов / Ш.С. Намазов, З.М. Турсунова, Т. Сатторов и др. // ДАН РУз. – 2003. – № 3. – С. 51-56.

13. Шукурова С.С., Таджиев С.М. Переработка бедных фосфоритов Центральных Кызылкумов // Узб. хим. журнал. – 2003. – № 6. – С. 40-43.

14. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / под ред. В М Олевского — М Химия, 1985 —510 с.

15. Ферд МЛ Некоторые технические и экономические аспекты повышения экологической чистоты производства неконцентрированной азотной кислоты за счет применения кислорода // Хим пром —1991 —№1 0 — с 17-24.

16. Спосіб одержання азотної кислоти: пат. 52064 Україна: МПК6 6С01В21/38,С01В21/40 № 200701472; заявл. 16.12.2002; Бюл № 12, 2002 р.

17. Наказ № 1352, 26.11.2012 «Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок».

18. Закон України «Про охорону праці». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст.668.

19. Кодекс Цивільного захисту України (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 34-35, ст.458), стаття 130.

Инва.Неподл.	Подп. и дата
Взаим. инв.№	Инва.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изва	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 17510047	Арк.
						44

20. Офіційний сайт державної служби статистики:  
<http://www.ukrstat.gov.ua/>.

Инва.Неподл.	Подп. и дата	Взаим.инв.№	Инва.№дубл.	Подп. и дата

Из	Лист	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 17510047

## ДОДАТКИ

## Додаток А

Таблиця А.1 – Статистика викидів азотовмісних сполук в Україні за звітній період 2008 – 2020 років [20]

Роки	Сполуки азоту, тис т	У %, до минулого року	Оксид азоту, тис т	Діоксид азоту, тис т	Аміак, тис т	Азотна кислота, тис т
2008	671,9	100,0	8,3	–	–	–
2009	592,9	88,2	7,1	–	–	–
2010	639,6	107,9	8,9	–	–	–
2011	684,0	106,9	23,8	–	–	–
2012	674,6	98,6	14,6	–	–	–
2013	673,0	99,8	15,4	–	–	–
2014	555,1	84,7	12,2	–	–	–
2015	483,0	83,2	12,2	–	–	–
2016	269,9	102,9	9,6	204,2	18,8	–
2017	245,2	90,9	8,9	215,5	17,4	–
2018	241,5	98,5	8,8	215,3	16,8	–
2019	230,4	95,4	7,0	205,1	17,9	–
2020	202,6	87,9	3,5	181,3	17,6	26,4

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим.инв.№	Подп. и дата
Инь.№дубл.	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.№	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата
Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.№	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата
Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим.инв.№	Подп. и дата	Инь.№дубл.	Подп. и дата

ТС 17510047

Арк.

46

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Результати дослідів [16]

Технологічні параметри	№ досліду				
	1	2	3	4	5
Вміст кисню в аміачно-кисневій суміші, % об					
Окисненість нітрозного газу в зрошувальному холодильнику-конденсаторі, % об	18,8	88	88	88	88
Окисненість нітрозного газу в хемосорбері, % об	80	98	98	98	98
Кількість кислоти, що одержують в зрошувальному холодильнику-конденсаторі, т/год	84	98	98	98	98
Кількість кислоти, що одержують в хемоадсорбері, т/год	–	10,5	12	8	13
Концентрація азотної кислоти продукційної, %	15	4,5	3	8	2
Кількість продувочних газів, м <sup>3</sup> /год	56	63	63	63	63
Питомий вихід газів, м <sup>3</sup> /т	–	6000	4800	6200	5000
Вміст NO <sub>x</sub> після абсорберу, % об	0,12	0,006	0,005	0,006	0,005

Инь.№подл.	Подп. и дата
Взаим. инв.№	Инь.№дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.№	Инь.№дубл.	Подп. и дата
Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.№	Инь.№дубл.	Подп. и дата
Инь.№подл.	Подп. и дата	Взаим. инв.№	Инь.№дубл.	Подп. и дата

ТС 17510047

Арк.

47