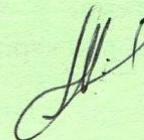


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Мороз Микола Олександрович



УДК66.097.004.18+66

**АБСОРБЦІЯ NO_x З ВИКОРИСТАННЯМ ЕФЕКТУ КАВІТАЦІЇ
ТА ПЕРЕРОЗПОДІЛОМ ГАЗОРІДИННИХ ПОТОКІВ
В ТЕХНОЛОГІЇ НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ**

Спеціальність 05.17.01 – технологія неорганічних речовин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Охорона праці та навколишнього середовища» в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Харків

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Ворожбіян Михайло Іванович,
Українська державна академія залізничного
транспорту, м. Харків,
завідувач кафедри охорони праці та
навколишнього середовища

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тошинський Володимир Ілліч,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
завідувач кафедри автоматизації хіміко-технологічних
систем та екологічного моніторингу

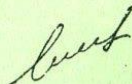
кандидат технічних наук, доцент,
Шестозуб Анатолій Борисович,
Дніпродзержинський державний технічний
університет, м. Дніпродзержинськ,
кафедра хімічної технології неорганічних речовин

Захист відбудеться 26 квітня 2012 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 64.050.03 у Національному технічному університеті
«Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул.
Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного
університету «Харківський політехнічний інститут»

Автореферат розісланий 24 березня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Г.М. Шабанова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦІ

Актуальність теми. Одним з основних видів мінеральних добрив є азотні, які визначають розвиток аграрного комплексу України, ефективне виробництво яких неможливе без удосконалення технології нітратної кислоти. Нітратну кислоту виробляють у системах під єдиним тиском 0,73 МПа, яка відома як уніфікована кислотна лінія (УКЛ). Технологічна схема має певні резерви, що дозволяє ставити завдання щодо покращення її показників, особливо зі збільшення ступеня переробки NO_x в абсорбційній колоні (АК). Разом зі створенням нових технологій доцільно модернізувати існуючі технології для зниження собівартості продукції, що виробляється, зменшення викидів шкідливих речовин, за рахунок збільшення ступеня переробки NO_x в HNO_3 та підвищення концентрації продукційної нітратної кислоти. Таким чином, удосконалення технології нітратної кислоти задля поліпшення техніко-економічних показників, а також зниження викидів NO_x до атмосфери є актуальним завданням, розв'язанню якого присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими планами, темами, програмами: Дисертаційна робота виконувалась за координаційними планами Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України: «Абсорбційно-каталітичні процеси і каталізатори в технології зв'язаного азоту, що забезпечують екологічну чистоту та ресурсозбереження», (ДР № 0103U001524); «Дослідження процесів кислотоутворення під впливом кавітаційного ефекту та знешкодження викидів у технології азотної кислоти на каталізаторах з металевим носієм», (ДР № 0106U001501), а також в рамках госпдоговірних робіт із ЗАТ «Севєродонецьке об'єднання «Азот»: «Збільшення ступеня абсорбції оксидів азоту у виробництві азотної кислоти з метою зменшення їхніх викидів»; «Оптимізація процесу кислотоутворення на агрегатах УКЛ цеху 5/6 з метою поліпшення основних техніко-економічних показників їхньої роботи»; «Оптимізація показників процесу кислотоутворення, в тому числі з використанням ефекту кавітації»; «Покращення показників роботи цеху виробництва азотної кислоти за рахунок використання ефекту кавітації», де здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення технології переробки NO_x в нітратну кислоту на основі аналізу закономірностей протікання процесів у рідкій фазі, в тому числі з використанням ефекту кавітації.

Для досягнення поставленої мети передбачаються такі завдання:

- оцінити ефективність роботи вузла абсорбції технології нітратної кислоти за схемою УКЛ по таким параметрам як концентрація нітратної кислоти та ступінь переробки нітрозних газів.
- розкрити причини зниження рушійної сили процесу кислотоутворення в певних зонах АК та запропонувати заходи стосовно збільшення ступеня переробки NO_x ;
- обґрунтувати механізм протікання процесів поглинання та переробки NO_x водою та розчинами HNO_3 , в тому числі при використанні ефекту гідродинамічної кавітації;

- одержати кінетичні закономірності впливу ефекту гідродинамічної кавітації на ступінь переробки NO_x в HNO_3 та одержати математичне рівняння процесу кислотоутворення;

- дослідити ефективність використання перерозподілу газорідних потоків в абсорбційній колоні та ефекту гідродинамічної кавітації для інтенсифікації процесів поглинання NO_x розчинами HNO_3 ;

- експериментально підтвердити теоретичні передумови й результати лабораторних досліджень стосовно впливу гідродинамічної кавітації на водні розчини HNO_3 у промислових умовах;

- на основі теоретичних і експериментальних досліджень запропонувати раціональний режим ведення процесу в абсорбційній колоні, у тому числі з використанням ефекту гідродинамічної кавітації під час підготовки рідкої фази перед подачею в АК.

Об'єкт дослідження: процес кислотоутворення в технології нітратної кислоти.

Предмет дослідження: закономірності окисних і масообмінних процесів, у тому числі при використанні ефекту гідродинамічної кавітації у процесі переробки NO_x в нітратну кислоту.

Методи дослідження: для вирішення поставлених задач використовували комплекс сучасних методів теоретичних та експериментальних досліджень. Аналіз рідкої фази на зміст нітратної кислоти та оксидів азоту; газової фази на зміст в ній оксидів азоту проводився титриметричним методом. Аналіз фізико-хімічних властивостей води до і після обробки гідродинамічної кавітації проводився за допомогою аналізатора WATER TEST.

Дослідження процесу кислотоутворення, у тому числі при використанні ефекту гідродинамічної кавітації, проведено з використанням спеціально створеної експериментальної установці з абсорбційною колоною й кавітатором, а також у промисловій абсорбційній колоні діючого агрегату.

Оброблення експериментальних даних здійснювали методами математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів:

- теоретично доведено та експериментально підтверджено наявність неоднорідності ступеня переробки NO_x в різних зонах АК та розкриття причини цього явища;

- виявлено закономірність впливу складу рідинної фази, в тому числі частки HNO_2 в розчинах нітратної кислоти на процес кислотоутворення, та запропоновано механізм прискорення цього процесу за рахунок перерозподілу газорідних потоків в абсорбційній колоні;

- вперше теоретично обґрунтовано й експериментально доведено вплив ефекту гідродинамічної кавітації на абсорбційні властивості води й водних розчинів нітратної кислоти відносно NO_x ;

- розкрито механізм кислотоутворення в результаті впливу гідродинамічного ефекту кавітації на воду та розчини нітратної кислоти;

- вперше одержано кінетичні закономірності впливу ефекту гідродинамічної кавітації на процес кислотоутворення залежно від низки технологічних параметрів та отримано рівняння для визначення ступені переробки нітрозних газів в нітратну кислоту;

- обґрунтовано та експериментально встановлено технологічні параметри, склад та співвідношення потоків газової і рідинної фаз та їх місце подачі до АК які дозволять підвищити ступінь переробки і забезпечити концентрацію NO_x після абсорбції на рівні 0,03% об. замість 0,11 на теперішній час.

Практичне значення отриманих результатів. На основі експериментальних досліджень запропонована схема перерозподілу газорідинних потоків у вузлі абсорбції агрегату УКЛ, що дозволило при збільшенні потужності агрегату на 15-18% забезпечити стійку концентрацію продукційної кислоти 58-59% мас. при концентрації газів абсорбції, що відходять, 0,08-0,1% об. Розроблено технологічне рішення, яке впроваджено на підприємстві ЗАТ «Сєверодонецьке об'єднання «Азот» з економічним ефектом 2,3 млн. грн.

Проведено промислове випробовування з використанням на зрошення абсорбційної колони активованої води (після проходження кавітаційного пристрою), що дозволило інтенсифікувати процес в абсорбційній колоні й частково знизити концентрацію NO_x у відхідних газах абсорбції. Технічне рішення перебуває в стадії впровадження на підприємстві ЗАТ «Сєверодонецьке об'єднання «Азот».

Запропоновано перспективну схему абсорбційного відділення, яка може бути застосована під час створення удосконаленої технології нітратної кислоти.

Отримані експериментальні дані та дані промислових випробувань й впроваджень можуть бути використані на підприємствах «азотної промисловості» й у системах очищення газів від NO_x , а також у навчальному процесі під час викладання курсу «Хімічна технологія неорганічних речовин».

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: аналіз наукової та патентної літератури; постановка мети і завдань щодо дослідження участь у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень; розроблення програмного забезпечення для обробки експериментальних даних при отриманні математичної моделі процесу; обробка експериментальних даних та отримання залежностей процесу, узагальнення, формулювання важливих положень, висновків та написання статей здійснювалися спільно із науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були представлені на: IV Українській науково-технічній конференції з технології неорганічних речовин «Сучасні проблеми технології неорганічних речовин» (м. Дніпродзержинськ, 2008 р.); Всеукраїнській науково-методичній конференції «Безпека життєдіяльності» Спілки фахівців з безпеки життєдіяльності (м. Харків, 2009 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності людини, як умова розвитку сучасного суспільства» (м. Харків, 2009 р.); Міжнародній науково-технічній конференції

«Сучасні проблеми нано-, енерго- та ресурсозберігаючих хімічних технологій» (м. Харків, 2010 р.).

Публікації. Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи опубліковано в 11 наукових працях, серед них 7 статей у фахових наукових виданнях й 1 патент України на корисну модель.

Структура й обсяг дисертації: дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і 12 додатків. Повний обсяг дисертації становить 185 сторінок; в тому числі 38 рисунків за текстом, 1 рисунок на окремій сторінці; 17 таблиць за текстом, 3 таблиці на 2 окремих сторінках; список використаних джерел зі 175 найменувань на 17 сторінках; 12 додатків на 37 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовані мета й завдання щодо досліджень, наведено загальну характеристику й кваліфікаційні риси дисертації.

У першому розділі наведено докладний аналіз основних закономірностей процесу кислотоутворення, впливу технологічних параметрів на показники процесу. Розглянуто механізми кислотоутворення в рідинній фазі, визначено роль кисню, а також детально проаналізовано літературні джерела з гідродинамічної кавітації як фактора, що впливає на склад рідинної фази і механізм процесів, які проходять при цьому, в тому числі вплив гідродинамічної кавітації води на її фізико-хімічні властивості, що дало можливість визначити основну мету й завдання подальших досліджень.

У другому розділі проаналізовано результати обстежень відділень абсорбції виробництва HNO_3 агрегатів УКЛ декількох підприємств, визначено причини низької ефективності проходження процесів кислотоутворення, на основі чого запропоновано шляхи впливу на цей процес.

Для аналізу ролі кожної зі стадій процесу кислотоутворення, особливо процесів, що проходять у рідинній фазі, на основі систематизації даних обстеження на низці підприємств об'єднання «Азот», проведено оцінювання ефективності процесу по висоті АК. Виходячи із складу газової й рідинної фаз, було отримано величини кислотоутворення по висоті колони, а також виявлено, що після десятої масообмінної тарілки починається різке зниження інтенсивності кислотоутворення й спостерігається це до двадцятої тарілки. Порівнюючи цю залежність із змінами концентрацій HNO_3 по висоті АК, можна встановити інтервал концентрацій кислот, у яких різко зменшується інтенсивність кислотоутворення. Це явище стосується концентрацій HNO_3 від 10 до 40% мас.

Розглядаючи отримані значення рівноважного ступеня абсорбції « Y^* » по висоті абсорбційної колони (залежність 1) рис. 1 і порівнюючи з реальним ступенем « Y » (залежність 2), можна спостерігати резерв підвищення

ефективності абсорбції в зоні 15-30 тарілок. Не менш важливим аспектом є аналіз зміни

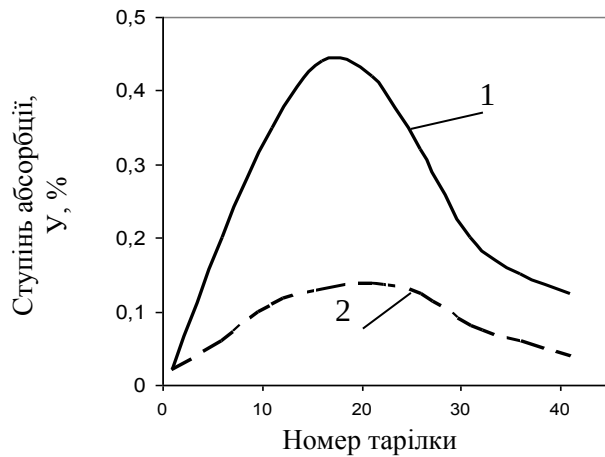


Рис. 1 – Зміни рівноважного та практичного ступеню абсорбції по висоті АК

- 1 – рівноважна ступінь абсорбції (Y^*)
 - - 2- реальна ступінь абсорбції (Y)

складу рідинної фази по висоті колони, в тому числі вміст нітритної

кислоти, сольватів та їх вплив на проходження процесів при абсорбції NO_x .

Система $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ із вмістом 10-40% мас. HNO_3 має низку характерних фізико-хімічних властивостей, які свідчать про її неоднорідність і вплив на її властивості структури розчину та наявність інших компонентів. Слід також зазначити, що

зниження відносної парціальної молярної ентропії в зазначеному діапазоні свідчить

про упорядкування системи, тобто гідратації, що, безумовно, погіршує сам процес кислотоутворення. Таким чином,

доведено існування в розчинах HNO_3 комплексних іонів, гідратів й інших асоціатів, а також те, що різне

співвідношення між ними впливає на структуру розчинника. В свою чергу, структура розчину впливатиме на швидкість абсорбції NO_x , оскільки з її зміною змінюються

властивості розчинів HNO_3 .

співвідношення між ними впливає на структуру розчинника. В свою чергу, структура розчину впливатиме на швидкість абсорбції NO_x , оскільки з її зміною змінюються властивості розчинів HNO_3 .

В роботі поставлено за мету вплинути на ці процеси як за рахунок виведення утворених небажаних комплексів і сполук, так і за рахунок прискорення окислювально-відновних процесів за наявності кисню в рідинній фазі. Для підвищення інтенсивності кислотоутворення по висоті колони, а також для мінімізації розміру зони, в якій присутня HNO_2 , запропоновано перерозподілити потоки газової й рідинної фаз в АК.

Виконання досліджень здійснювалось в цеху 5/6 неконцентрованої нітратної кислоти у ЗАТ «Севєродонецьке об'єднання «Азот».

У **третьому розділі** на основі обстеження абсорбційного відділення 3-го і 4-го агрегатів та впровадження запропонованої схеми перерозподілу газорідинних потоків виконано оцінювання ефективності цього рішення.

На першому етапі досліджень необхідно було сформувати базові показники з розглянутої технології. Отримано результати оцінювання стану 3-го й 4-го агрегатів виробництва HNO_3 за основними показниками роботи відділення абсорбції, тобто продуктивності (через навантаження по аміаку), концентрації продукційної кислоти й вмісту оксидів азоту на виході з АК. Дослідження виконувались на 4-му агрегаті, 3-ій був обраний як контрольний для більш об'єктивного оцінювання отриманих результатів. Як базові, усереднені показники, результати досліджень подано в табл. 1. Наведені дані свідчать про роботу відділення абсорбції в неоптимальних умовах (низьке

навантаження по аміаку, концентрація HNO_3 56-58% мас., вміст NO_x на виході з колони 0,1 - 0,15% об.).

Таблиця 1

Результати досліджень відділення абсорбції 4-го агрегату з витратами аміаку у середньому $5757 \text{ м}^3/\text{год.}$ та глибокознесоленої води $4300 \text{ м}^3/\text{год.}$

№ п/п	Концентрація HNO_3 , %, мас.					Концентрація нітрозного газу, %, об.					
	куб АК	по тарілках АК				вхід			вихід		
		10	13	17	19	NO	NO ₂	NO _x	NO	NO ₂	NO _x
1	58,0	31,0	32,5	21,1	20,5	1,97	4,78	6,75	0,040	0,08	0,12
2	56,4	35,5	31,7	21,7	20,3	1,45	5,79	7,24	0,060	0,09	0,15
3	56,2	32,4	27,2	23,2	20,0	1,42	5,68	7,10	0,034	0,08	0,11

Зміну концентрації HNO_3 по висоті АК 4-го агрегату подано на рис. 2 (залежність 1).

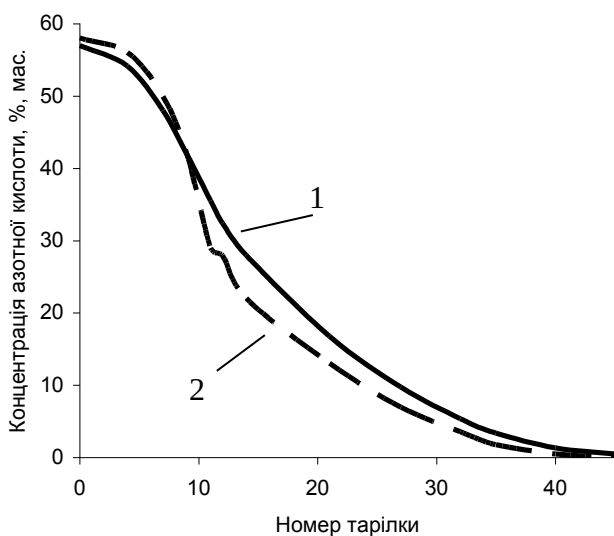


Рис. 2 – Зміна концентрації нітратної кислоти по тарілках АК

- 1 ————— стаціонарний режим роботи АК
2 - - - - - режим з перерозподілом потоків

Як видно із наведеної залежності, найбільш різке погіршення процесу кислотоутворення спостерігається орієнтовно з 7-ої по 17-ту тарілку, що відповідає діапазону концентрацій кислот 45 - 20 % мас. - зони розчину HNO_3 із вмістом різного роду комплексів, розглянутих вище.

На основі теоретичних досліджень, наведених у другому розділі щодо загальних закономірностей проходження процесу кислотоутворення, а також на основі вищенаведених експериментальних

досліджень щодо процесу кислотоутворення по висоті АК, зроблено висновки про необхідність впливу на процес кислотоутворення в зоні 10 – 20 абсорбційних

тарілок. Це можливо досягти шляхом перерозподілу потоків газової і рідинної фаз у відділенні абсорбції. Як критерії ефективності запропонованого рішення є концентрація HNO_3 по тарілках, концентрація продукційної HNO_3 та вміст NO_x в газах після абсорбційної колони. Для розв'язання поставленого завдання подавали глибокознесолену воду на зрошення абсорбційної колони і таким чином – на верхню тарілку від 60 до 70 % від загальної кількості, у середню зону на 18 та 12 тарілки – від 40 до 30%. Після проведених досліджень встановлено раціональне місце подачі глибокознесоленої води – 15% на 18-ту

тарілку, 15% на 12-ту тарілку й 70% - на верхню зону АК. При цьому спостерігається зміна складу рідинної фази в зоні 5-25-ої тарілок, і, зрозуміло, це впливає на весь хід процесу по колоні. Після перерозподілу потоків при значному зростанні навантаження на АК по NO_x у зв'язку із збільшенням кількості NH_3 з 5100 до 5400 $\text{м}^3/\text{год.}$ вміст NO_x в газах, що відходять, зменшився на 10%, а концентрація HNO_3 збільшилася на 0,5 % мас.

Отримані результати впливу перерозподілу рідинної фази дали можливість перейти до промислових випробувань і для впровадження цього технологічного рішення. На першому етапі впровадження перерозподіл потоків був частковим - 25% на 18-ту тарілку й 75% - на верхню зону АК.

Аналіз впровадження відбувався на двох агрегатах № 3 та 4. Основні характеристики абсорбційного відділення агрегатів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика роботи АК 3-го і 4-го агрегатів УКЛ
за січень - лютий 2003-2004 рр.

Показник роботи	УКЛ №4			УКЛ №3		
	2003	2004	Δ	2003	2004	Δ
Період	1. 01-28.02	1. 01-29.02		1. 01-28.02	1. 01-29.02	
Навантаження по аміаку, $\text{м}^3/\text{год}$	5448	6441	993(18%)	5720	5908	188(3,3%)
Концентрація продукційної кислоти, % мас.	58,98	59,21	0,66	59,02	59,03	0,14
Вміст NO_x в газі після абсорбційної колони, % об.	0,095	0,115	0,02	0,088	0,11	0,022

Аналіз отриманих даних показав, що на 4-ому агрегаті після впровадження технологічного рішення з'явилася можливість підняти навантаження на 18%, при цьому концентрація продукційної кислоти збільшилася на 0,66% мас., хоча вміст NO_x у газах, що відходять, незначно збільшився, це пояснюється як значним збільшенням навантаження на абсорбційну колону, так і більш високою температурою періоду 2004 року (за кліматичними умовами).

Порівнюючи роботу АК 3-го і 4-го агрегатів УКЛ за січень-лютий 2003-2004 років з показниками контрольного (3-го агрегату), визначено, що зростання концентрації NO_x також становить 0,022 %, але при цьому приріст по продуктивності становив усього 3,3 %. Аналогічний аналіз було зроблено за період квітень - травень 2003 - 2004 років, що також підтвердив аналогічні

На наступному етапі було проведено дослідження з визначення впливу кисню на інтенсивність окисних процесів у різних зонах абсорбційної колони, а також на основі зроблених розрахунків встановлено необхідність перерозподілу подачі додаткового повітря в абсорбційну колону. При загальній кількості додаткового повітря 8700 м³/год, що подавався в куб колони, прийнято рішення подати частину повітря під 12-ту тарілку з метою визначення кількості повітря, яке необхідно подавати в зазначену зону. Проведено дослідження, при якому подавали різний об'єм повітря в межах від 1700 до 2700 м³/год.

При цьому фіксували основні показники процесу: навантаження по аміаку, концентрацію продукційної кислоти й концентрацію NO_x у викидних газах. Встановлено, що 2200 м³/год. повітря, яке подавали на 12-ту тарілку, дало можливість отримати найкращі показники роботи агрегату - до подачі повітря під 12-ту тарілку концентрації NO_x в газах, що відходять, становило 0,123 % об., а після – 0,102 % об.

Таким чином, встановлено можливість покращити проходження процесу кислотоутворення за рахунок перерозподілу потоку рідинної фази, що дозволить значно вплинути на процеси, особливо в рідкій фазі, а саме, на розкладання нітрітної кислоти та на процеси гідратації. Однак ефект від перерозподілу потоків може бути більш значним, якщо при цьому можна було б прискорити окисні процеси в рідинній фазі, а саме: окиснення NO до NO₂ та HNO₂ до HNO₃.

У **четвертому** розділі подано дослідження із впливу гідродинамічної кавітації на процес кислотоутворення під час поглинання NO_x , тобто при застосуванні потенціалу так званої «активної води», одержаної обробкою води в режимі гідродинамічної кавітації.

Використання ефекту кавітації сприяє зміні структури води з появою вільних водневих

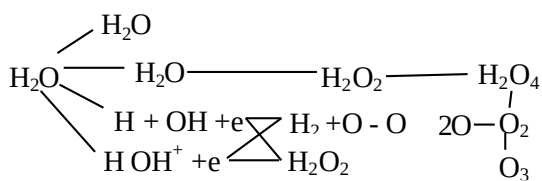


Рис. 3 - Схема дисоціації молекул
води під впливом гідродинамічної
кавітації

проблемних питань щодо абсорбції NO_x . Наявність озону, кисню, перекису водню, безумовно, здатна вплинути на процес кислотоутворення. Для визначення цього впливу розроблено експериментальну установку, основним апаратом якої є абсорбційна колона з однією сітчастою тарілкою і кавітатором (рис. 4).

Активация воды возможна в режиме развитой кавитации, что отвечает числу кавитации $K = 0,15$, что и введено под час разработки и изготовления кавитирующего устройства (кавитатора).

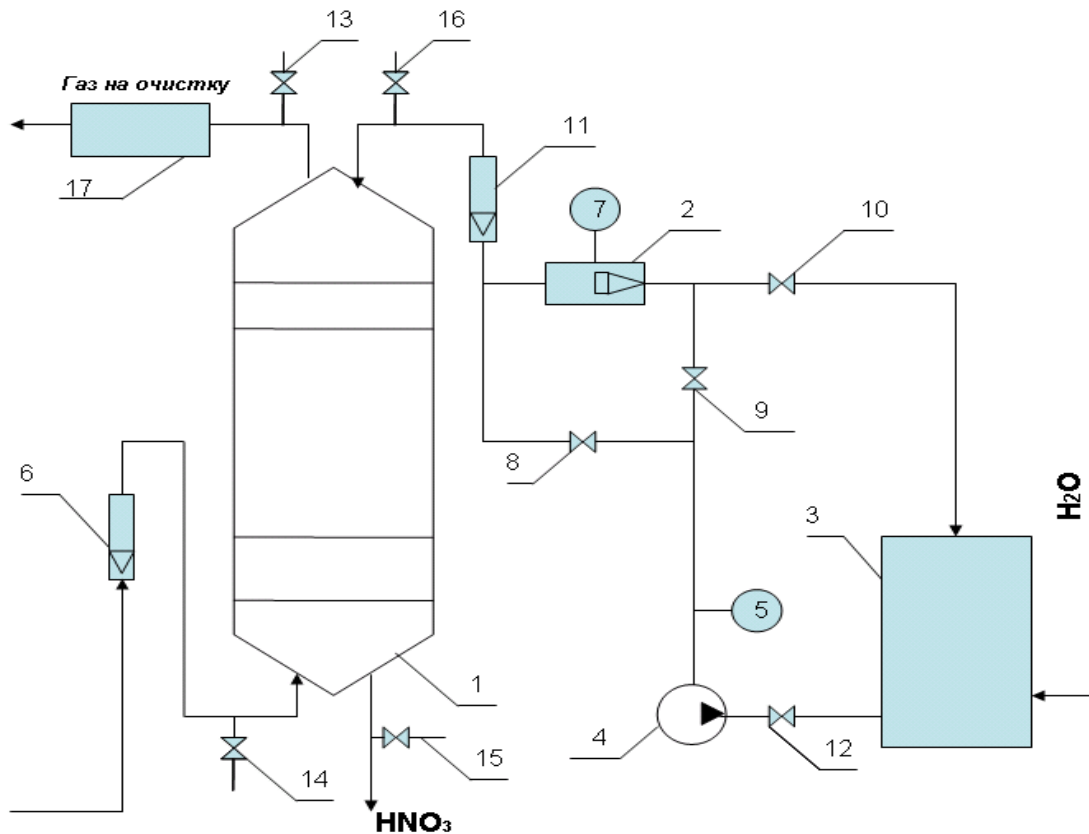


Рис. 4 - Схема експериментальної установки

1 – АК; 2 – кавітатор; 3 – ємність; 4 – відцентровий насос; 5 – манометр; 6 – витратовимірювач газової фази; 8,9,10,12 – вентилі; 7 – вакуумметр; 11 – витратовимірювач рідкої фази; 13,14 – точки аналізу газової фази; 15,16 – точки аналізу рідкої фази

Виконано дослідження щодо одержання залежності ступеня переробки NO_x в нітратну кислоту від технологічних параметрів: концентрації розчинів нітратної кислоти - 0-45% мас.; лінійної швидкості нітрозного газу - 0,3-0,5 м/с; концентрації NO_x – 0,05 – 7,5% об., температури - 283 – 310 К. При цьому, зрошення АК здійснювалося як звичайною водою, так і водними розчинами, які перебували під дією гідродинамічної кавітаційної обробки. Дослідження виконувалися під атмосферним тиском. Результати досліджень подані на рис. 5 - 8.

Виходячи з отриманих залежностей, зроблено висновок - має місце істотне збільшення ступеня переробки при застосуванні активованої води, у тому числі найбільший ефект спостерігається в сфері підвищених концентрацій HNO_3 (рис. 8). Також слід зазначити можливість переробки NO_x при більш високій лінійній швидкості (рис. 7). Весь отриманий масив експериментальних даних дав можливість одержати рівняння для визначення ступені переробки нітрозних газів в нітратну кислоту від вищенаведених технологічних параметрів. Це рівняння являє собою експериментальні дані із відносною похибкою у 7%. Отримане рівняння використовувалось в алгоритмі розрахунку процесу кислотоутворення в АК.

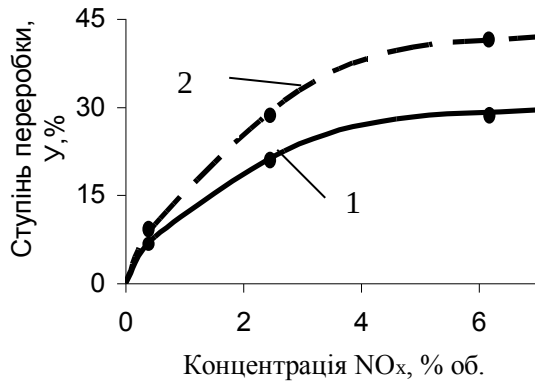


Рис. 5 Залежність ступеня переробки від CNO_x , при $W = 0,35 \text{ м/с}$, $\text{C}_{\text{HNO}_3} = 32,3 \%$, мас., 1 - $T = 302 \text{ K}$, 2 - $T = 284 \text{ K}$

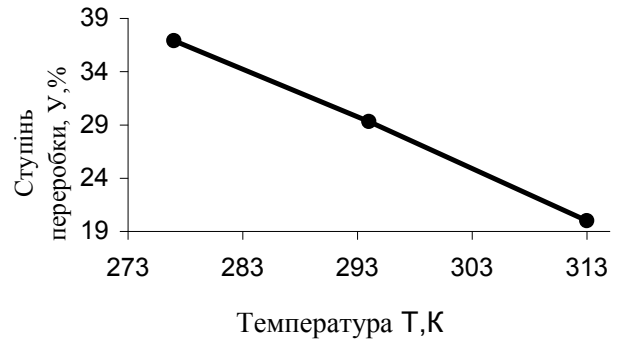


Рис. 6. Залежність ступеня переробки від температури, при $W = 0,35 \text{ м/с}$, $\text{C}_{\text{HNO}_3} = 37 \%$, мас., $\text{NO}_x = 6,5 \%$ об.

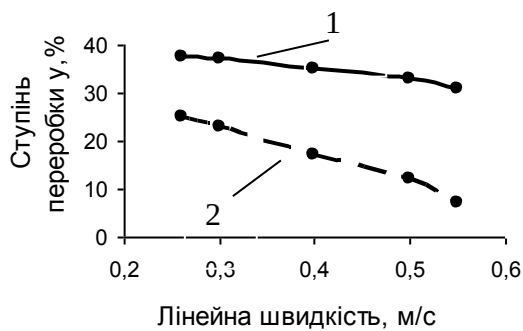


Рис. 7. Залежність ступеня переробки NO_x від лінійної швидкості газового потоку: за таких параметрів : $\text{C}_{\text{HNO}_3} = 42 \text{ мас.}\%$. $T = 283 \text{ K}$, $\text{NO}_x = 6,8 \%$ об. 1 - з кавітацією; 2 - без кавітації

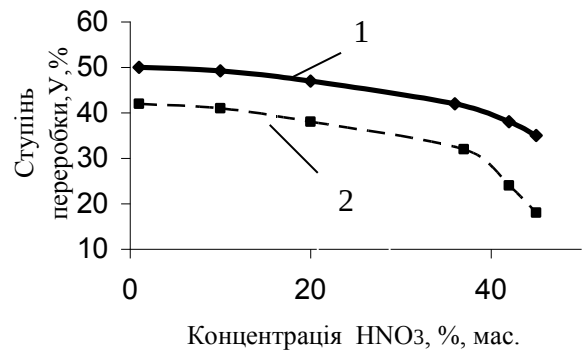


Рис. 8. Залежність ступеня переробки NO_x від концентрації HNO_3 при $T = 283 \text{ K}$ $\text{CNO}_x = 6,5-7 \%$ об., $W = 0,3 \text{ м/с}$ 1 - з кавітацією 2 - без кавітації

Рівняння для визначення ступені переробки нітрозних газів в нітратну кислоту:

$$y = \frac{1463 \cdot (100 - C_{\text{HNO}_3})^{0,5} \cdot C_{\text{NO}_x}^{0,4}}{W^{0,2} \cdot T^{0,9}}, \quad (1)$$

де C_{NO_x} - концентрація NO_x , д.од.;

T - температура, K;

W - лінійна швидкість газу, м/с;

C_{HNO_3} - масова частка азотної кислоти, д.од.

На основі отриманих даних і з урахуванням апріорної інформації процес кислотоутворення із застосуванням кавітованої води можна представити наступним механізмом:



Експериментальні дані з впливу активованої води на кислотоутворення стали основою для проведення промислових випробувань на діючій абсорбційній колоні агрегату УКЛ. Промислові дослідження виконувались, починаючи з 2009 по 2010 рік у різні періоди. Випробування здійснювались з метою фіксації основних показників роботи АК як з подачею звичайної води на зрошення, так і після кавітаційної обробки. З огляду на це був розроблений і виготовлений кавітатор, який забезпечував кавітацію в межах 0,6 - 0,7 м³/год., що дозволило частково кавітувати подану в АК глибокознесолену воду. При цьому подача кавітованої води здійснювалася при різних співвідношеннях до верху колони й до середньої зони. Результати проведених експериментів наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати експериментальних досліджень із різним місцем введення й співвідношенням кавітованої води в АК

(навантаження на агрегат по NH_3 – 6050 м³/год.)

Розподіл потоків рідкої фази - 5,2 м³/год. на зрошення АК	C_{HNO_3} , % мас. (продукційна)	C_{NO_x} на виході з АК, %, об.
Без кавітації, подача наверх – 3,9 м³/год. й на 12-ту й 18-ту тарілки по 0,65 м³/год.	58,0	0,140
	57,5	0,148
	57,8	0,139
Із частковою кавітацією, подача на верх 4,3 м³/год. і на 12-ту й 18-ту тарілки - по 0,5 м³/год.	57,9	0,130
	57,8	0,110
	58,5	0,120
Із частковою кавітацією всієї H_2O , подача на верхню тарілку – 5,2 м³/год.	58,0	0,120
	57,5	0,130
	58,1	0,130
Із частковою кавітацією, подача на верхню тарілку – 3,65 м³/год. і на 18-ту й 12-ту тарілки по 0,75 м³/годину	59,1	0,120
	59,0	0,110
	58,9	0,110

Виходячи з отриманих даних, раціональне співвідношення потоків з кавітацією відповідає 70% на верх АК і по 15% - на 12-ту та 18-ту тарілки. Частково повітря подавалося під 12-ту тарілку, при цьому отримано найкращі

показники по концентрації HNO_3 - 59% мас. та вмісту NO_x в газі 0,11% об. Додатково також було проведено дослідження при збільшенні кількості кавітованої води за рахунок додаткового кавітуючого пристрою (робота двох кавітаторів), загальна кількість кавітованої води – 1,3 м³/год., результати якого наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Основні показники роботи відділення абсорбції з різними способами подачі кавітованої рідинної фази (навантаження по NH_3 - 6050 м³/год)

Умови проведення експериментів	C_{HNO_3} , % мас. (продукційна)	C_{NO_x} , % об. (газів після АК)
1-а серія	56,8	0,140
2-а серія	57,9	0,135
3-я серія	59,0	0,120
4-а серія	58,0	0,130

Загальний високий рівень концентрації NO_x після абсорбції обумовлений часом проведення досліджень при температурі навколишнього середовища 306-307 К і навантаженні по аміаку 6050 м³/год. Незважаючи на це, вміст NO_x після АК знизився на 10-15%.

1-а серія - зі зрошенням АК звичайною глибокознесоленою водою (на верхню тарілку 75%, а на 18-ту – в кількості 25% від загального об'єму);

2-а серія - з подачею до верхньої частини АК (без перерозподілу потоків по рідинній фазі) частково кавітовану глибокознесолену воду;

3-я серія - з подачею до верхньої частини АК – 70% і на 12-ту й 18-ту тарілки частково кавітовану глибокознесолену воду по 15%, тобто по 0,75 м³/год;

4-а серія - кількість частково глибокознесоленої води розподілялося на дві АК, при цьому на 4-ому агрегаті вода подавалася як до верху АК, так і на 12-ту й 18-ту тарілки.

Як видно, подача частково кавітованої води на 12-ту і 18-ту тарілки значно поліпшує процес кислотоутворення в зоні з 18-ої по 5-ту тарілки, а також вона дала змогу підвищити концентрацію продукційної кислоти (рис. 9). Безумовно, активована частина води, що подається по ходу від 18-ої тарілки до куба АК, витрачається на утворення HNO_3 , і її кількість зменшується, а в зоні 5-ої тарілки – куб

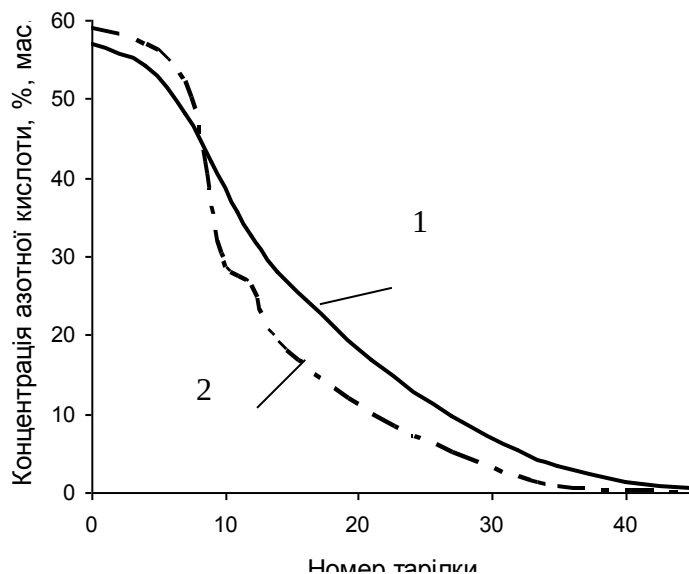


Рис. 9 Залежність приросту концентрації нітратної кислоти по висоті АК з кавітацією та без

- ▲— 1 - звичайний режим роботи
- 2 - з подачею кавітованої води

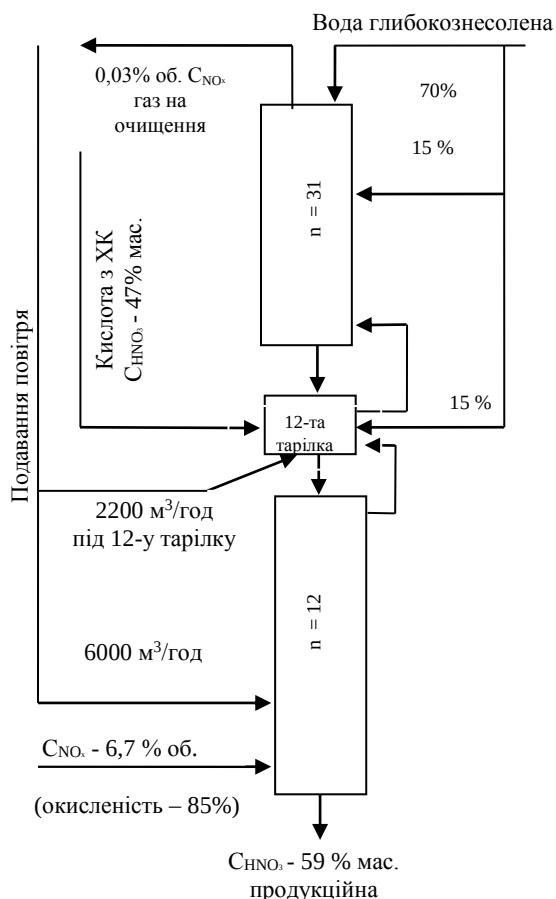


Рис. 10 - Перерозподіл потоків газорідинної фази в АК

концентрації становила б 25-27% мас. HNO_3 , а на виході з 12-ї тарілки (після змішування та процесу абсорбції) до нижньої частини колони надходила HNO_3 з концентрацією близько 40% мас. Для цього змішування декількох потоків рідинної фази здійснювалося на 12-й тарілці, куди подавалося 15% рідкої фази від загальної кількості глибокознесоленої води, (70% подається на верх АК й 15% на 18-ту тарілку), а також кислота з холодильника-конденсатора із концентрацією 47% мас.

В подальшому змодельовано процес кислотоутворення в АК на основі розрахунку стандартної колони, згідно з яким практично повністю описано процес кислотоутворення в колоні до реконструкції.

За цим розрахунком для досягнення ступеня абсорбції 98,9 % і вмісту на виході з абсорбційної колони NO_x – 0,11 % об. необхідний об'єм всієї АК.

Після перерозподілу потоків, використовуючи цей алгоритм, на основі розрахунків встановлено можливість переробки NO_x до даного ступеня в меншому абсорбційному об'ємі на 5 – 6 тарілок (при ступені абсорбції 98,9%), а при використанні існуючого абсорбційного об'єму, вміст NO_x на виході з АК може становити 0,05% об.

Проходження процесу кислотоутворення в АК за запропонованою схемою наведено на рис. 11 (залежність 1).

відбувається часткове окиснення NO початкового газу розчинами HNO_3 , а це не дає можливості значно підвищити концентрацію продукційної нітратної кислоти, але при поліпшенні підготовки газу до абсорбції (при збільшенні вмісту NO_2 у початковому газі до 90-95%) концентрацію продукційної кислоти можна підвищити до 60-61% мас.

У **п'ятому розділі** обґрунтована та запропонована схема перерозподілу потоків у відділенні абсорбції для діючого виробництва, в тому числі з використанням ефекту гідродинамічної кавітації, що підтверджено промисловими випробуваннями, технологічними розрахунками та економічною доцільністю (рис. 10).

Під час розв'язання завдання з виключення небажаного інтервалу концентрацій HNO_3 із процесу кислотоутворення, абсорбційна колона умовно була розділена на 3 зони таким чином, щоб рідинна фаза на вході і до середньої зони до змішування потоків кислоти різної

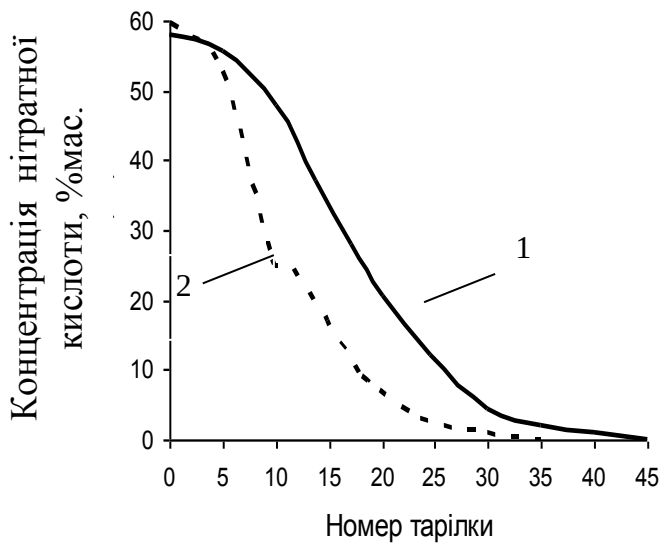


Рис. 11. – Зміна складу рідкої фази по висоті АК до та після перерозподілу потоків
1-до перерозподілу потоків; 2 - після

демонструє переваги кожного з наведених рішень за таким чинником, як C_{NOx} в газах, що відходять.

Як видно, концентрація нітратної кислоти по всій зоні кислотоутворення змінилась, тобто процес кислотоутворення став більш інтенсивним, а зона, в якій стійка нітрітна кислота - зменшилася. Використання ефекту кавітації в технології нітратної кислоти також дало можливість запропонувати відповідну схему подачі обробленої в кавітаційному режимі води до відповідних зон (рис. 10).

При спільному використанні двох чинників на основі розрахунків показана можливість досягнення концентрації продукційної кислоти 59-60% мас. при вміщенні NO_x на виході з АК до 0,03 % об. у стандартному абсорбційному об'ємі АК агрегату УКЛ (рис. 11, залежність 2).

Порівняльна характеристика запропонованих технологічних рішень наведена на рис. 12, що яскраво

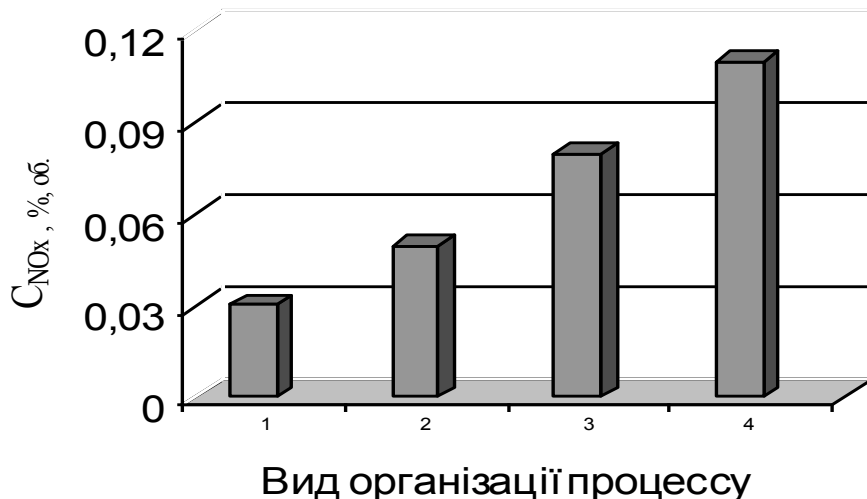


Рис. 12 - Залежність C_{NOx} в газах абсорбції, що відходять з АК, від організації процесу кислотоутворення

- 1 - перерозподіл газорідних потоків з кавітацією;
- 2 - перерозподіл газорідних потоків;
- 3 - перерозподіл рідкої фази;
- 4 - базовий режим роботи.

Результати з перерозподілу потоків впроваджені на всіх 4-х агрегатах цеху неконцентрованої нітратної кислоти, що підтверджено відповідним актом впровадження, а рекомендації з використання кавітованої води перебувають в стадії впровадження. Очікуваний ефект від впровадження на двох агрегатах орієнтовно складе 600 тис. грн. /рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано науково-практичне завдання щодо вдосконалення процесу кислотоутворення в технології азотної кислоти, яке полягає у визначенні особливостей фізико-хімічних властивостей системи $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O-NO}_x$ складу розчину HNO_3 у діапазоні 10 - 40% мас., закономірностей окисних і масообмінних процесів, у тому числі під час використання ефекту гідродинамічної кавітації, у процесі переробки оксидів азоту в азотну кислоту.

Основні теоретичні і практичні результати виконаної роботи полягають у наступному:

1. В результаті зрівняння та аналізу результатів обстеження відділення абсорбції агрегатів УКЛ на низці підприємств «Азот» України та Росії дозволили обґрунтувати перспективність досліджень з абсорбції NO_x .

2. На основі теоретичних досліджень фізико-хімічних властивостей системи $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O-NO}_x$ визначені особливості складу розчину HNO_3 у діапазоні 10 - 40% мас. і його вплив на процес кислотоутворення, що дозволило запропонувати перспективне технологічне рішення з підвищення рушійної сили процесу (перерозподіл потоків газової й рідинної фази в абсорбційній колоні) для підвищення загальних показників кислотоутворення, таких як концентрація нітратної кислоти та ступінь переробки нітрозних газів (зміст NO_x після абсорбції).

3. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено, що прискорити процес кислотоутворення в середній зоні абсорбційної колони та зменшити вміст NO_x після абсорбції на 10 - 15% можливо за рахунок перерозподілу потоків газової й рідинної фаз: 70% глибокознесоленої води на зрошення верхньої й середньої зон відповідно по 15% на 12-ту та 18-ту тарілки.

4. Теоретично обґрунтований та експериментально підтверджений вплив гідродинамічної кавітації на абсорбційні властивості води й водних розчинів нітратної кислоти щодо NO_x . У результаті експериментальних досліджень отримано кінетичні залежності процесу кислотоутворення в діапазоні таких параметрів: концентрація HNO_3 - 20-45% мас.; лінійна швидкість - 0,3-0,5 м/с; концентрація NO_x - 0,5 - 7,5% об.; температура - 283 – 313 К. Встановлено помітний приріст ступеня переробки NO_x в нітратну кислоту при вищевказаних параметрах (у середньому на 15%

5.) при абсорбції водою, яка пройшла кавітаційну обробку, в порівнянні зі звичайною.

6. Отримано математичне рівняння для визначення ступені переробки нітрозних газів в нітратну кислоту у досліджуваному діапазоні, та в подальшому використано для розрахунку процесу кислотоутворення в абсорбційній колоні для удосконалення конструкції запропонованої схеми.

7. На основі випробувань у промислових умовах стосовно подачі частково кавітованої води в абсорбційну колону підтверджено раціональне співвідношення й місце введення цих потоків - по 15% від загальної кількості води на 18-ту й 12-ту тарілки та 70% на верх абсорбційної колони, що дало змогу зменшити концентрацію NO_x після АК до 0,08% об. та підвищити концентрацію нітратної кислоти до 59 - 59,5% мас. Таким чином виявлені резерви підвищення продуктивності роботи вузла абсорбції у промислових умовах

8. Виконані теоретичні, лабораторні дослідження та промислові випробування дали змогу запропонувати схему перерозподілу потоків газової й рідинної фаз за умови попередньої кавітаційної обробки рідинної фази, що дозволяє домогтися збільшення ступеня абсорбції NO_x , а отже, зниження вмісту їх у газах, що відходять, з 0,11 до 0,03% об.

9. Результати науково-дослідної роботи з перерозподілу газорідинних фаз впроваджені на 4-х агрегатах ЗАТ «Сєвєродонецьке об'єднання «Азот».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мороз Н.А Изучение процесса поглощения оксидов азота в режиме кавитации / Н.А. Мороз, А.В. Кобзев, А.Я. Лобойко, В.С. Багдасарян, М.И. Ворожбян // Интегрированные технологии та энергосбережения. – Х.: НТУ «ХП». – 2004. – № 1. – С. 82–84.

Здобувачем наведені результати експериментальних досліджень щодо поглинання NO_x в режимі кавітації.

2. Мороз Н.А. Влияние процесса кавитации на реакционную способность растворов азотной кислоты / Н.А. Мороз, М.И. Ворожбян, А.В. Кобзев, А.Я. Лобойко // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. праць. – Харків.: НТУ «ХП». – 2004. – Вип. 41. – С.101–104.

Здобувачем наведені результати експериментальних досліджень з впливу кавітації на фізико-хімічні властивості води та розчинів HNO_3 .

3. Ворожбян М.И. Влияние эффекта кавитации на свойства водных растворов азотной кислоты / М.И. Ворожбян, Н.А. Мороз, А.Я. Лобойко, А.В. Кобзев, Н.Б. Маркова // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. праць. – Харків.: НТУ «ХП». – 2007. – №32. – С. 7–11

Здобувачем виконані дослідження стосовно переробки оксидів азоту в режимі кавітації та використання цього процесу під час інтенсифікації абсорбційних процесів.

4. Мороз Н.А. К вопросу о совершенствовании технологии производства азотной кислоты / Н.А. Мороз, Б.К. Гармаш, М.И. Ворожбян, А.Я. Лобойко, Н.Б. Маркова // Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. праць. – Харків.: НТУ «ХПІ». – 2010. – Вип 13. – С. 52–58.

Здобувачем розглянуті технічні рішення для поліпшення роботи агрегатів УКЛ, запропонована реконструкція промислових агрегатів УКЛ.

5. Мороз Н.А. Абсорбция оксидов азота водой, активированной посредством эффекта кавитации / Н.А. Мороз, М.И. Ворожбян, А.Я. Лобойко, Н.Б. Маркова, В.С. Багдасарян // Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. праць. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2010. – Вип 52. – С. 90–94.

Здобувачем наведені результати досліджень з визначення ефективності впливу кавітованої води на процес кислотоутворення в промисловому агрегаті УКЛ.

6. Мороз М.О. Агрегати відділення абсорбції виробництва нітратної кислоти (УКЛ). Шляхи підвищення ефективності роботи / М.О. Мороз, М.І. Ворожбіян, В.С.Багдасарян // Хімічна промисловість України. – Київ. – 2011. – Вип. 2. – С. 41–45.

Здобувачем наведені результати досліджень по інтенсифікації абсорбційних процесів NO_x розчинами HNO_3 з використанням гідродинамічної кавітації в лабораторних і промислових умовах.

7. Деклараційний патент на корисну модель Спосіб абсорбції оксидів азоту / М.І. Ворожбіян, В.В. Казаков, М.О Мороз та ін.; Заявл. 02.10.06; Опубл. 15.01.07. – Бюлетень № 1.

Здобувачем наведений спосіб включає абсорбцію оксидів азоту в абсорбційній колоні кавітованої води.

8. Мороз Н.А. Основные направления улучшения показателей работы агрегатов производства азотной кислоты под давлением 7,3 атм. / Н.А. Мороз, М.И. Ворожбян, А.В. Кобзев, Н.Б. Маркова, В.В. Кравченко // Сучасні проблеми технології неорганічних речовин: зб. наук. праць. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2008. – С. 20–22.

Здобувачем розглянуті основні напрямки інтенсифікації роботи агрегатів виробництва HNO_3 .

9. Мороз Н.А. Основные направления улучшения показателей работы агрегатов производства азотной кислоты под давлением 7,3 атм. / Н.А. Мороз, М.И. Ворожбян, А.В. Кобзев, Н.Б. Маркова, В.В. Кравченко // Сучасні проблеми технології неорганічних речовин: зб. матер. IV Української наук.-техн. конф. з технології неорганічних речовин. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2008. – С. 80–81.

Здобувачем досліджено основні аспекти виробництва HNO_3 .

10. Ворожбян М.И. Проблемы и пути защиты атмосферного воздуха от оксидов азота / М.И. Ворожбян, О.В. Костыркин, Л.А. Катковникова, Н.А.

Мороз // «Безпека життєдіяльності»: матеріали 7-ї регіон. наук.-методичн. конф. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2007. – С. 29–30.

Здобувачем приведені можливі напрямки застосування технічних засобів що до захисту довкілля від оксидів азоту.

11. Мороз Н.А. К вопросу о совершенствовании технологии производства азотной кислоты / Н.А. Мороз, Б.К. Гармаш, М.И. Ворожбян, А.Я. Лобойко, Н.Б. Маркова // Сучасні проблеми нано-, енерго- та ресурсозберігаючих і екологічно орієнтованих хімічних технологій: тези доповід. Міжнар. наук.-техн. конф. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – С. 45–46.

Здобувачем розглянуті питання удосконалення технологічних процесів виробництва HNO_3 .

*Автор висловлює подяку канд.техн.наук, доктору філософії,
академіку Міжнародної академії інформатизації,
генеральному директору підприємства «Енерготехнологія», м. Москва
Багдасаряну Вазгену Сергійовичу за консультацію з питань
теорії гідродинамічної кавітації.*

АНОТАЦІЇ

Мороз М.О. Абсорбція NO_x з використанням ефекту кавітації та перерозподілом газорідних потоків в технології нітратної кислоти. -

На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.17.01 – технологія неорганічних речовин. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2012.

Дисертація присвячена дослідженню переробки в нітратну кислоту та спрямована на удосконалення роботи вузла абсорбції на підґрунті розкриття закономірностей протікання процесів у рідкій фазі, в тому числі із використанням ефекту кавітації.

Проведені дослідження по перерозподілу газорідних потоків при процесі кислотоутворення у промислових абсорбційних колонах, що дозволило прискорити процес кислотоутворення у середній зоні абсорбційної колони та знизити концентрацію вихідних газів абсорбції до 0,08 % об.

Проведені дослідження щодо вивчення впливу ефекту гідродинамічної кавітації на абсорбційні властивості води та водних розчинів нітратної кислоти у відношенні до NO_x , розкритий механізм процесу та кінетичні закономірності процесу кислотоутворення.

Проведені промислові випробовування з використанням на зрошення абсорбційної колони активованої води, обробленої в режимі гідродинамічної кавітації, показали можливість стабілізувати процес кислотоутворення в абсорбційній колоні.

Ключові слова: оксид азоту, ступінь окислення, динамічні умови, нітратна кислота, гідродинамічна кавітація.

Мороз Н.А. Абсорбция NO_x с использованием эффекта кавитации и перераспределением газожидкостных потоков в технологии азотной кислоты. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – технология неорганических веществ. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». – Харьков, 2012.

Диссертация посвящена исследованию переработки оксидов азота в азотную кислоту и направлена на усовершенствование работы отделения абсорбции на основании раскрытия закономерностей протекания процессов в жидкой фазе, в том числе с использованием эффекта кавитации.

На основании теоретических исследований определены особенности состава раствора HNO_3 в диапазоне 10 - 40% масс. и его влияние на процесс кислотообразования, что позволило предложить перераспределение потоков газовой и жидкой фазы в абсорбционной колонне.

Получены закономерности влияния эффекта кавитации на процесс кислотообразования, раскрыт механизм процесса, экспериментально установлено значительный прирост, степени переработки NO_x в азотную кислоту в изученном диапазоне параметра в среднем на 15 % при абсорбции водой, прошедшей кавитационную обработку, по сравнению с обычной, что также подтверждается в промышленных условиях.

На основании испытаний в промышленных условиях по подаче кавитированной воды в абсорбционную колонну установлено оптимальное соотношение и место ввода данных потоков - по 15% от общего количества воды на 18-ую и 12-ую тарелки и 70% на верх абсорбционной колоны.

На основании выполненных теоретических, лабораторных и промышленных испытаний предложена схема перераспределения потоков газовой и жидкой фаз при условии предварительной кавитационной обработки, позволяющая добиться увеличения степени абсорбции оксидов азота, а, следовательно, снижение содержания NO_x в отходящих газах с 0,11 до 0,03% об.

Предложена технологическая схема отделения абсорбции агрегата УКЛ, что позволило при увеличении мощностей агрегатов на 15-18% обеспечить устойчивую концентрацию продукционной кислоты 58-59% масс., при концентрации отходящих газов абсорбции 0,08-0,1% об. NO_x .

Проведены промышленные испытания предлагаемых решений, которые показали возможность стабилизировать процесс в абсорбционной колонне и снизить концентрацию оксидов азота на выходе из абсорбционной колонны.

Данные технологические решения внедрены по перераспределению потоков газожидкостной фазы внедрено на 4-х агрегатах ЗАО «Северодонецкое объединение «Азот»

Ключевые слова: абсорбция, оксид азота, степень окисления, кислотообразование, азотная кислота, гидродинамическая кавитация.

Moroz. M.O. Absorption NO_x in cavitations' condition with redistribution gas-liquid currents in technology nitric acid. Manuscript.

Technical candidate's thesis by specialty 05.17.01 –technology inorganic substance. –National technical university «Kharkiv polytechnic institute»- Kharkiv, 2012.

Thesis covers for research reprocessing oxide nitrogen in nitric acid, and directs for improvement work of the center absorption on the grounds of discovery regularity of behavior in liquid phase, including using of the cavitations' effects.

An analyzes made by redistribution gas-liquid currents which process acidify in industrial absorption column and it made to accelerate acidify in the middle zone of the absorption column.

An analyzes made by researching of influence effect hydrodynamic cavitations' for absorption quality water and waters' solution nitric acid by ratio of oxide nitrogen, solved the mechanism of process and kinetic regularities of the process acidify.

Industrial tests with using absorption column activated water for irrigation was taken, receiving in regime of hydrodynamic cavitations, and it is allowed to stabilized the process in absorption column partly.

Key word: oxide nitrogen, degree of oxidation, dynamic conditions, nitric acid, hydrodynamic cavitation.



Мороз Микола Олександрович

**АБСОРБЦІЯ NO_x З ВИКОРИСТАННЯМ ЕФЕКТУ КАВІТАЦІЇ
ТА ПЕРЕРОЗПОДІЛОМ ГАЗОРІДИННИХ ПОТОКІВ
В ТЕХНОЛОГІЇ НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ**

05.17.01 – технологія неорганічних речовин

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск Білецька Е.С.

Підписано до друку 23.03.2012 р. Формат паперу 60x84 1/16. Друк
різограф.

Папір офсетний. Обсяг 0,9 ум. друк. арк. Наклад 100 прим.
Зам. № 135..

Видавництво УкрДАЗТ.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
61050, Харків, майдан Фейєрбаха, 7
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м.Харків, майдан Фейєрбаха, 7