

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису


Найда Микола Сергійович

ПЕРЕРОБКА КОНЦЕНТРОВАНИХ ОКСИДІВ АЗОТУ
В АЗОТНУ КИСЛОТУ

05.17.01 - технологія неорганічних речовин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 1996



Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Харківського державного політехнічного університету

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Конвісар Віктор Іванович

Науковий консультант: кандидат технічних наук, доцент

Печенко Тамара Іванівна

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Клещев Микола Федосович

кандидат технічних наук, доцент

Білінкін Володимир Миколайович

Провідна організація: Державний науково-дослідний та проєктивний інститут хімічної технології, Міністерство промисловості України, м. Северодонецьк

Захист дисертації відбудеться "27" червня 1996 р.

о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.09.10 при Харківському державному політехнічному університеті (310002, м.Харків, МСП, вул. Фрунзе, 21).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.

Автореферат розісланий "25" травня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00753671 (Т)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Розвиток хімічної промисловості України на сучасному етапі неможливо уявити без виходу на якісно новий рівень базових виробництв галузі, однією з яких є виробництво азотної кислоти. Наукові дослідження у виробництві азотної кислоти спрямовані на створення нових систем великої одиничної потужності, ліквідацію викидів шкідливих речовин в атмосферу, та на удосконалення діючих схем через інтенсифікацію всіх стадій технологічного процесу.

Досвід роботи промислових систем показав, що одержання азотної кислоти з масовою концентрацією більш як 59 - 60 відсотків неможливо отримати навіть в системі Ак-72. Крім того, ці системи не є екологічно безпечними.

В останнє десятиріччя дослідження вітчизняних та закордонних вчених показали, що найбільш перспективним напрямком азотнокислотного виробництва є проведення парокисневого та кисневого окислення аміаку з метою одержання концентрованих нітросних газів. Вивчення кінстичних закономірностей, одержання кількісних показників переробки концентрованих оксидів азоту, з метою забезпечення умов одержання кислоти з масовою концентрацією 60-64 відсотків, та можливості створення екологічно чистих систем за рахунок незначної кількості інертів і, як наслідок, різке зниження об'ємів газу, безумовно, мають теоретичну та практичну цінність.

Робота виконувалась у відповідності з Постановою Ради Міністрів СРСР N 847 від 11.09.85 р. "О мерах по развитию промышленности минеральных удобрений, химических средств защиты растений и увеличению поставок их сельскому хозяйству в 1986-1990 годах.", а також у відповідності з постановою Мінвузу УРСР та галузі (накази N 43/36 від 27/31 01.1986) "Розробка нових та інтенсифікація діючих технологій та каталізаторів у виробництві азотної та сірчаної кислот, метанолу та азотних добрив".

Мета роботи. Розробка наукових та технологічних основ переробки концентрованих оксидів азоту в азотну кислоту. У відповідності з цим були поставлені наступні завдання:

провести теоретичний аналіз існуючих наукових концепцій процесу абсорбції оксидів азоту;

- експериментально дослідити кінетику процесу абсорбції концентрованих оксидів азоту під підвищеним тиском, встановити оптимальні умови проведення процесу в різних гідродинамічних та кінетичних умовах;

- на основі експериментальних даних розробити програму розрахунку абсорбційної колони;

- видати рекомендації для проєктування та розрахунку абсорбційного відділення промислових агрегатів на основі парокисневої та кисневої конверсії аміаку.

Наукова новизна. На основі теоретичного аналізу та результатів експериментальних досліджень встановлено основні закономірності процесу абсорбції концентрованих оксидів азоту:

- вперше одержано кінетичні залежності процесу абсорбції концентрованих нітрозних газів, які дозволили розробити математичну модель, що відображує закономірності процесу в широкому діапазоні фізико-хімічних та гідродинамічних параметрів;

- вперше визначено оптимальні технологічні параметри проведення процесу;

- створено алгоритм і програму розрахунку абсорбційної колони з урахуванням зміни об'єму газу (за рахунок зміни рівноважних парціальних тисків оксидів азоту) при їх поглинанні розчинами азотної кислоти на одній тарілці.

Практична цінність роботи. Одержаний експериментальний матеріал та математичну модель було застосовано галузевими науковими дослідними інститутами для розробки та розрахунку варіантів схем виробництва кислоти з використанням парокисневої та кисневої конверсії аміаку.

Запропоновано варіант схеми з розрахованим абсорбційним відділенням переробки концентрованих газів в кислоту з масовою концентрацією 62-64%.

На захист виносяться:

ДНБ ім. В. Стефанівича
АН України

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ПРАЦІ.

Аналітичний огляд. Проведено аналіз робіт по кінетиці і гідродинаміці абсорбційних процесів, розглянуті теоретичні особливості одержання азотної кислоти як із "звичайних" так і концентрованих оксидів азота, питання їх рівноваги з розчинами азотної кислоти, і швидкості абсорбції оксидів азоту та впливу на неї фізико-хімічних і гідродинамічних параметрів.

Виконано детальний аналіз одержаних рядом авторів рівноважних даних. Обґрунтовано вибір рівнянь для розрахунку рівноважних тисків з урахуванням зміни об'єму оксидів азоту при їх поглинанні розчинами кислот.

Встановлено відсутність даних по кінетиці процесу кислотоутворення при підвищеному загальному тиску для газів з об'ємною концентрацією 15-57 %, а також суперечність по впливу тиску на процес переробки оксидів азоту.

Все вищесказане й зумовило вибір напрямку досліджень по вивченню процесів кислотоутворення в області високих концентрацій оксидів азоту в широкому діапазоні фізико-хімічних і гідродинамічних параметрів з метою одержання основних закономірностей процесу та його математичного опису.

Експериментальні дослідження

Дослідження по визначенню впливу основних технологічних параметрів на процес абсорбції оксидів азоту розчинами азотної кислоти проводились на лабораторній установці проточного типу. Абсорбційна колона (внутрішній діаметр дорівнює 0.05 м), та інше обладнання з комунікаціями виготовлені із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Нітрозний газ необхідної концентрації і окисності готували у випарнику рідких оксидів азоту. Аналіз газової і рідинної фаз проводили по стандартним методикам.

При розробці математичної моделі, в ролі функції відгуку, фактору, що відображує вплив технологічних параметрів на інтенсивність процесу кислотоутворення були прийняті:

- коефіцієнт масопередачі (K), який більш об'єктивно відображує процес масопередачі при одержанні азотної кислоти;
- коефіцієнт корисної дії тарілки (ККД), який необхідний при розрахунках абсорбційної колони.

Експериментальні дослідження проводились в наступному діапазоні технологічних параметрів:

C_{NOx} - об'ємна концентрація оксидів азоту	15-57 %;
C_{HNO_3} - масова доля азотної кислоти	45-64 %;
P - тиск	0,2-0,74 МПа;
W - лінійна швидкість газу	0,2-0,6 м/с;
T - температура	283-353 К.

На зрошення подавали розчин кислоти, який містив рівноважну кількість оксидів азоту. Показники процесу переробки концентрованих газів розраховували за формулами та розмірностями, якими користуються азотники.

Вибір технологічних параметрів зроблено з урахуванням літературних даних і досвіду експлуатації агрегатів виробництва азотної кислоти.

З рівняння адитивності фазових опорів випливає, що загальний опір в системі газ-рідина складається з дифузійних опорів газової та рідинної фаз:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_g} + \frac{m^*}{K_r}$$

де K_g і K_r - коефіцієнти масопередачі в газовій і рідинній фазах відповідно;

m^* - константа фазової рівноваги.

Вплив тиску на коефіцієнт масопередачі K визначається не тільки його впливом на K_g , K_r і m^* , але й часткою кожного із фазових опорів ($1/K_g$ - опір газової фази, m^*/K_r - опір рідинної фази). Внесок

кожного із них в загальній опір визначається головним чином значенням константи фазової рівноваги m^* , величина якої залежить від властивостей газо-рідинної системи.

Складність абсорбції оксидів азоту розчинами азотної кислоти полягає в тому, що оксиди азоту, крім NO , належать до середньорозчинних газів, тому вплив тиску як на коефіцієнт масопередачі, так і на швидкість абсорбції буде змінюватись. Більш того, тиск також може впливати на характер парорідинної системи за рахунок перерозподілу загального тиску між фазами. Отже, тиск може впливати на процес абсорбції різноманітно, тому під час досліджень було проведено три серії експериментів з урахуванням F - фактора, відповідаючого за гідродинаміку процесу:

- при різному парціальному тиску (різниця досягалась за рахунок постійності концентрації газу при зміні загального тиску в колоні), і постійному F - факторі;

- при постійному парціальному тиску і F - факторі;

- при різному парціальному тиску (постійна концентрація газу і різний тиск) і різному F - факторі.

Дослідження проводились при таких технологічних параметрах: об'ємна концентрація газу 18,4-56,5 % з окисністю приблизно - 95,4 %; температура - 310-315 К; тиск в колоні - 0,2-0,74 МПа; лінійна швидкість газу - 0,17-0,34 м/с.

Закріплення кислоти проводили на 1-2 %, при умові того, що масова концентрація продукційної кислоти - 58-58,4 %.

Результати експериментів показані в таблиці. Із даних першої серії (експерименти № 1-8) бачимо, що з підвищенням концентрації газу і тиску падіння коефіцієнту масопередачі незначно, тобто опір процесу визначається не тільки газовою, а й рідинною фазою. Так, наприклад, для газу з об'ємною долею 38,42 % з підвищенням тиску від 0,2 до 0,74 МПа коефіцієнт масопередачі зменшується в 1,67 рази, тобто пропорційно $P^{-0.39}$, а при таких же умовах для газу з об'ємною долею 56,1 % - зменшується в 1,21 рази, тобто $P^{-0.26}$. Швидкість процесу зростає. Її ріст в даній серії експериментів пояснюється більш значним підвищенням рушійної сили відносно коефіцієнту масопередачі.

Таблиця Вплив тиску на основні показники процесу абсорбції
(T=310-315 К, Ск=58-58.4% об., L1=95.1-95.5%).

N п/п	Тиск	Швид- кість газу	Об'ємна конц. вихідн. газу	F - фактор	К К Д тарілки	Рухійна сила процесу	Швидкість переробки V, кгHNO ₃ н . год	Коеф-нт наспоред- дачі K, кг HNO ₃ н . год. МПа
	P, МПа	W, м/с	Cg, %	f, МПа	Q, д. од.	P, МПа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.20	0.336	38.43	0.06835	0.2990	0.0126	278.1	22136
2	0.35	0.250	38.42	0.06812	0.2872	0.0282	428.4	15217
3	0.56	0.197	38.44	0.06815	0.2836	0.0524	605.0	11540
4	0.74	0.170	38.43	0.06806	0.2380	0.0793	618.4	7794
5	0.20	0.336	56.11	0.07458	0.2770	0.0206	506.8	24613
6	0.35	0.250	56.08	0.07459	0.3326	0.0414	934.6	22600
7	0.56	0.197	56.13	0.07461	0.3648	0.0712	1405.7	19741
8	0.74	0.170	56.10	0.07469	0.3955	0.0958	1819.6	19001
9	0.35	0.250	38.45	0.06826	0.2843	0.0286	427.0	14937
10	0.56	0.215	24.46	0.06816	0.2880	0.0296	339.4	11463
11	0.74	0.193	18.43	0.06815	0.2844	0.0302	290.9	9621
12	0.35	0.250	56.08	0.07459	0.3326	0.0414	934.6	22600
13	0.56	0.220	35.71	0.07460	0.3960	0.0395	831.0	21047
14	0.74	0.200	26.91	0.07467	0.4350	0.0380	793.7	20908
15	0.20	0.250	38.43	0.05083	0.3309	0.0121	230.7	19121
16	0.35	0.250	38.42	0.06813	0.2872	0.0282	428.5	15216
17	0.56	0.250	38.41	0.08629	0.2580	0.0541	694.3	12833
18	0.74	0.250	38.42	0.10014	0.2260	0.0818	866.7	10596
19	0.20	0.250	56.12	0.05546	0.3130	0.0196	427.6	21867
20	0.35	0.250	56.12	0.07431	0.3324	0.0406	927.4	22865
21	0.56	0.250	56.09	0.09472	0.3381	0.0749	1650.4	22032
22	0.74	0.250	56.14	0.10979	0.3431	0.1059	2330.5	22012

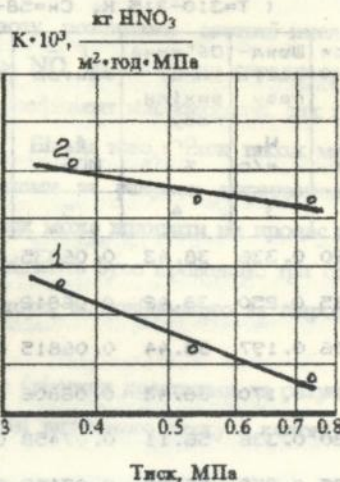
Вивчення впливу загального тиску (ролі інертів) на процес абсорбції оксидів азоту розчинами азотної кислоти проводилось при постійності парціального тиску і F - фактору, (експерименти № 9-14), рисунок 1. В таких умовах коефіцієнт масопередачі повністю характеризує процес, так як рушійна сила практично залишається постійною. При постійному парціальному тиску, але з підвищенням загального, зменшується доля активного компоненту, тобто погіршуються умови дифузії.

Аналіз експериментальних даних показав, що не можна порівнювати загальний і парціальний тиск в процесі абсорбції. Таким чином наші дослідження вперше доказали

необхідність різнопланового урахування впливу "чистого" тиску й концентрації газу на процес абсорбції оксидів азоту.

В третій серії (експерименти № 15-22) дослідження були проведені при постійній концентрації оксидів азоту і постійній лінійній швидкості газового потоку, але при різному тиску.

Як бачимо з даних експериментів, з підвищенням тиску коефіцієнт масопередачі менш значно знижується ніж в першій серії експериментів, тому що в даному разі змінюється F-фактор, тобто з підвищенням тиску збільшується висота пінного шару, що позитивно впливає на процес. Так, при об'ємній концентрації газу з 56,1 % зниження коефіцієнту масопередачі менш значне, ніж при концентрації газу 38,42 %, що ще раз підкреслює раніш зроблений висновок - з підвищенням концентрації газу опір процесу зосереджений не тільки в газоній, а й в рідинній фазі.



Температура - 311-314 К, окисність газу - 0.25 м/с, масова концентрація HNO_3 - 58 - 58.25 %, об'ємна концентрація газу, %: 1 - 38.2 - 38.42, 2 - 56.0 - 56.12

Рисунок 1. Вплив тиску на коефіцієнт масопередачі ($C \cdot P = \text{const}$, F-фактор = const).

В зв'язку з підвищенням тиску при однаковій концентрації нітрозного газу його парціальний тиск збільшується, в результаті чого збільшується рушійна сила процесу приблизно пропорційно тиску, тому швидкість процесу переробки газу різко зростає в зв'язку з більшими витратами нітрозного газу.

Відомо, що визначення впливу концентрації газу на ступінь абсорбції та швидкість кислотоутворення є одним з найважливіших завдань, вирішення якого дозволить одержати повну картину про рушійну силу процесу переробки оксидів азоту.

Концентрація газу і тиск суттєво впливають на основні показники процесу абсорбції, але ототожнювати їх сумісний вплив тільки через парціальний тиск газу ($C \cdot P/100$), що робилось раніш багатьма дослідниками, на нашу думку, несправомірно, тому що вміст інертів значно впливає на кількісні та якісні показники процесу абсорбції.

При поглинанні слабких газів зміна об'єму незначна, тому що газовий струм в основному містить інерт, але з підвищенням концентрації активного компонента в газі помилка буде зростати. На основі робіт Шервуда Т., Остроумова Р.С., Мілєра Д. і з урахуванням сказаного вище, нами була розроблена програма розрахунку основних показників процесу абсорбції, яка допомогла уникнути вище названих неточностей. Подальша обробка експериментальних даних проводилась згідно розробленої методики.

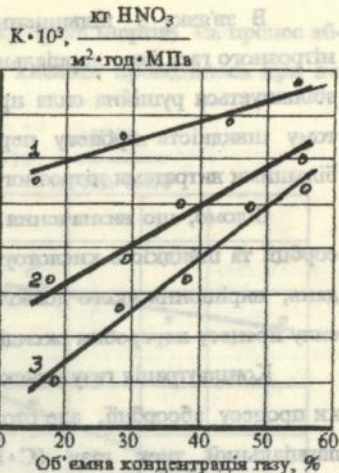
Вплив початкової концентрації оксидів азоту на основні показники процесу визначався під тиском 0,2-0,74 МПа, при температурі 311-314 К, лінійній швидкості газового потоку - 0,25 м/с. Об'ємна концентрація оксидів азоту змінювалась від 15 до 57 %, окисність яких становила 95-96 %. Результати досліджень показані на рисунку 2.

Аналізуючи їх, ми бачимо, що з підвищенням загального тиску в колоні, характер залежності коефіцієнту масопередачі змінюється і більш значно з підвищенням концентрації оксидів азоту в газі. Так при тиску 0,2 МПа і зростанні об'ємної концентрації газу з 15 до 57 % коефіцієнт масопередачі збільшується в 1,32 рази, а при тиску 0,74 МПа і аналогічних умовах - в 4,27 рази. Такий вплив концентрації газу ще раз підкреслює раніш зроблений висновок про

наявність опору зі сторони рідинної фази, причому з підвищенням тиску дифузійний опір газової фази більш значний.

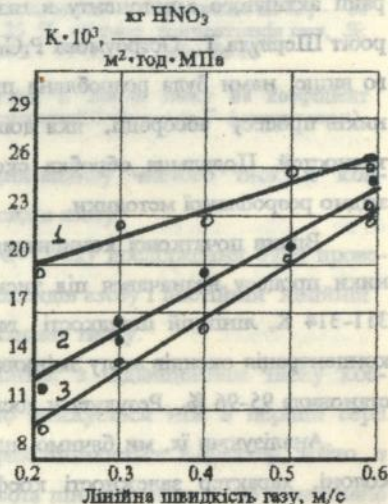
Одним із факторів інтенсифікації переробки оксидів азоту являється підвищення лінійної швидкості газового потоку, оскільки при цьому збільшується поверхня контакту фаз і знижується дифузійний опір масопередачі. Однак при цьому зменшується час контакту фаз. Залежність коефіцієнту масопередачі від лінійної швидкості показано на рисунку 3, з якого бачимо, що для газу при об'ємній концентрації 38,51% і температурі 310-315 К з підвищенням лінійної швидкості від 0,2 до 0,6 м/с коефіцієнт масопередачі зменшується в 1,438 рази, під тиском 0,2 МПа, а при тиску 0,74 МПа і аналогічних умовах - в 1,936 рази. Такий вплив, із зміною тиску і лінійної швидкості газового потоку, проходить за рахунок перерозподілу загального дифузійного опору між газовою і рідинною фазами.

Експериментальні дослідження по вивченню впливу температури на процес абсорбції концентрованих газів проводились під



Температура - 311-314 К, лінійна швидкість газу - 0,25 м/с, масова концентрація HNO_3 - 58-58,3 %, тиск в колоні, МПа: 1 - 0,2, 2 - 0,35, 3 - 0,73

Рисунок 2. Залежність коефіцієнту масопередачі від концентрації газу.



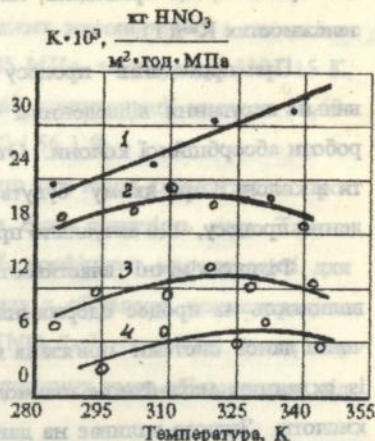
Температура - 310-315 К, об'ємна концентрація газу - 38,4 %, окисність - 95,4 %, масова концентрація HNO_3 - 58,12-58,35 %, тиск, МПа: 1 - 0,2, 2 - 0,35, 3 - 0,73

Рисунок 3. Залежність коефіцієнту масопередачі від лінійної швидкості газу.

тиском 0,35 МПа, лінійній швидкості газу 0,25 м/с, об'ємній концентрації газу 38,4 і 56,7 %, концентрації кислоти з масовою долею від 45 до 63 %, температура змінювалась від 282 до 346 К. Результати досліджень показані на рисунках 4 і 5. На рисунку 4 бачимо, що для кислот з масовою долею більш 56 % існують оптимальні температури. Наприклад, якщо коефіцієнт масопередачі для кислоти з масовим вмістом 45 % з підвищенням температури змінюється лінійно, то для кислоти з масовою долею 56,57 % маємо максимум в інтервалі температур 303-308 К, для кислот більш високих концентрацій максимум зміщується в сторону більш високих температур.

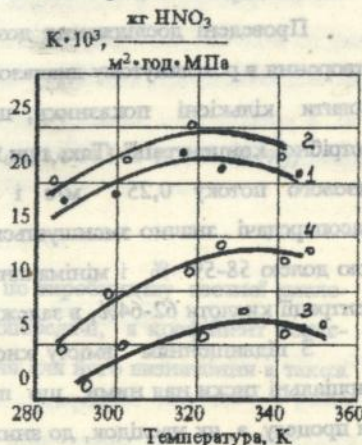
Из рисунка 5 видно, що з підвищенням концентрації газу оптимум по температурі переміщується в сторону більш високих температур при аналогічних умовах, тобто на концентрованому газі абсорбцію можна вести при більш високих температурах.

Таку зміну коефіцієнта масопередачі можна пояснити різною залежністю від температури і концентрації ефектів гідратації, сольватації та інших, котрі переважають при певних умовах сприяючи абсорбції або



Лінійна швидкість газу - 0,25 м/с, тиск - 0,35 МПа, об'ємна концентрація газу - 38,42 %, масова концентрація HNO_3 , %: 1 - 45, 2 - 56,69, 3 - 60,52, 4 - 62,19

Рисунок 4. Вплив температури на коефіцієнт масопередачі



Лінійна швидкість газу - 0,25 м/с, тиск - 0,35 МПа, об'ємна концентрація газу, %: 1, 2 - 38,42, 3, 4 - 56,1; масова концентрація HNO_3 , %: 1, 2 - 56,69, 3, 4 - 62,19

Рисунок 5. Вплив температури на коефіцієнт масопередачі

гальмуючи її, що приводить, на нашу думку, до появи екстремумів на залежностях $K=f(T)$.

При проведенні процесу абсорбції в промислових умовах правильне керування відведенням тепла є основною умовою ефективної роботи абсорбційної колони. Отже можна підібрати такий режим роботи в колоні, при якому будуть забезпечені оптимальні умови проведення процесу, що актуально при переробці концентрованих газів.

Фізико-хімічні властивості системи $\text{NO}_x\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ значно впливають на процес одержання азотної кислоти. Складність у вивченні даної системи пов'язана перш усього з її динамічністю, а також із складним механізмом взаємодії оксидів азоту з розчинами азотної кислоти. Значно впливає на даний механізм і полімеризація діоксиду азоту. Експериментальні дослідження впливу концентрації кислоти на основні показники процесу, проводились під тиском 0,2-0,74 МПа, швидкості газового потоку 0,25 м/с, та кислоті з масовою долею кислоти 45-64 %.

Проведені дослідження дозволили не тільки оцінити кислотоутворення в розглянутому діапазоні технологічних параметрів, а й установити кількісні показники, що необхідні для одержання кислоти потрібної концентрації. Так, при тиску 0,35 МПа, лінійній швидкості газового потоку 0,25 м/с і температурі 310-315 К коефіцієнт масопередачі значно зменшується після концентрації кислоти з масовою долею 58-59 % і мінімальних значень досягає при масовій концентрації кислоти 62-64%, в залежності від концентрації газу.

З підвищенням вмісту кислоти в розчинах ростуть рівноважні парціальні тиски над ними, що приводить до зменшення рушійної сили процесу, а, як наслідок, до зниження швидкості поглинання оксидів азоту.

Процес виробництва азотної кислоти з масовою долею більш як 60 % в значній мірі залежить від окисності газу, тому що навіть незначна кількість монооксиду азоту зменшує швидкість поглинання активного компоненту (N_2O_4 , NO_2). Від окисності газу залежить рівноважний парціальний тиск оксидів азоту, який значно впливає на рушійну силу процесу.

Вплив даного фактору на коефіцієнт масопередачі і швидкість процесу вивчався при тиску в колоні 0,35 МПа, температурі 310-315 К, лінійній швидкості газу 0,25 м/с, масовій концентрації кислоти 56,69-63,34 %, об'ємній концентрації газу 38,42 і 56,1 %.

Аналіз одержаних даних показав, що чим вище концентрація продукційної кислоти, тим вища повинна бути окисність газу. Так, з підвищенням окисності з 80 до 98,5 % коефіцієнт масопередачі для кислоти з масовою долею 58,1 % і газу з об'ємною концентрацією 38,42 % змінюється з 9341 до 15187 кг $\text{HNO}_3/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{МПа})$, а для газу з об'ємною концентрацією 56,1 % і аналогічних умов збільшується від 20796 до 23638 кг $\text{HNO}_3/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{МПа})$.

Заключним етапом досліджень була розробка математичної моделі. Загальна кількість даних (256) при 6 незалежних параметрах дозволила розробити надійну модель для 2 основних критеріїв процесу - коефіцієнт масопередачі (K, кг $\text{HNO}_3/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{МПа})$) та коефіцієнт корисної дії тарілки (ККД, д.од.).

$$K = \frac{10290 \cdot (K_0 - 0,491) \cdot (1 + \frac{12,85}{P^{0,4}})}{1 + \exp(\frac{K_0 - 0,579}{0,014})} + T \cdot (30,9 - K_0 \cdot (73,4 - 14,5 \cdot G - 18,9 \cdot O - 9,3 \cdot W))$$

Оскільки при розрахунку агрегатів по виробництву азотної кислоти використовується не коефіцієнт масопередачі, а коефіцієнт корисної дії тарілки, то доцільно мати рівняння для його визначення а також встановити взаємозв'язок між K і ККД :

$$\text{ККД} = -0,503 + 0,366 \cdot P \cdot (1 - 0,94 \cdot G^{-0,05}) + 0,693 \cdot O \cdot K^{-0,12} + 0,109 \cdot \frac{(1 - 0,602 \cdot K)^2 \cdot (1 + 1,363/W) \cdot (1 - 0,263 \cdot G)}{1 + \exp(\frac{K - 0,598}{0,0135})}$$

$$\text{ККД} = (0.183 + 0.524 \cdot 10^{-4} \cdot K) / (1 + 11 \cdot W)$$

де K - коефіцієнт масопередачі, кг $\text{HNO}_3 / (\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{атм})$;

ККД- ефективність тарілки, д.од.;

P - тиск, атм; T - температура, K ; W - швидкість газу, м/с;

G - концентрація газу, д.од.; O - окисність, д.од.;

K_O - концентрація кислоти, д.од.

Побудована нами математична модель має високу надійність (відносний огріх не вище 10 %) і тому може бути використана для технологічних розрахунків розглянутого процесу в широкому інтервалі технологічних параметрів, а також відображує його фізико-хімічні властивості, має теоретичну цінність для подальшого пошуку найбільш перспективних шляхів інтенсифікації процесу абсорбції оксидів азоту.

З використанням одержаних даних, математичної моделі та алгоритму на її основі було розраховано абсорбційне відділення системи по переробці концентрованих газів в азотну кислоту з масовою часткою 60-64 %, з урахуванням оптимального відношення процесів конденсації і абсорбції.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено процес абсорбції концентрованих оксидів азоту з об'ємною долею 15-57 %, під тиском 0.2-0.74 МПа, лінійній швидкості газу 0.2-0.6 м/с, температурі 283-353 К, що дало змогу визначити абсолютні значення показників процесу (коефіцієнт масопередачі, швидкість переробки оксидів азоту, ККД тарілки), які дозволили теоретично і практично обґрунтувати схему одержання азотної кислоти і в свою чергу сформулювати рекомендації для проєктування і розрахунку абсорбційного відділення при одержанні азотної кислоти з газів кисневого і парокисневого окислення аміаку.

2. Вивчено кінетику процесу абсорбції концентрованих газів і вперше встановлено роль тиску при постійному F -факторі.

3. Установлено зменшення коефіцієнту масопередачі з підвищенням тиску, причому з підвищенням концентрації газу негативний вплив тиску зменшується, але швидкість процесу значно збільшується так, як ріст рушійної сили з підвищенням тиску більше ніж зменшення коефіцієнту масопередачі.

4. Встановлено оптимальний температурний режим процесу абсорбції під тиском, забезпечуючий проведення процесу на концентрованих газах при більш високих температурах (308-345 К).

5. Підвищення лінійної швидкості газового потоку з ростом концентрації газу сприяє проведенню процесу з більшою швидкістю переробки оксидів азоту і при більш високих значеннях коефіцієнту масопередачі. З підвищенням концентрації газу вплив лінійної швидкості газу на процес абсорбції менш значний, за рахунок перерозподілу загального дифузійного опору між газовою і рідиною фазами.

6. Розроблено математичну модель для розрахунку К і ККД, яка з достатньою надійністю (відносний огріх до 10%) описує процес переробки концентрованих оксидів азоту в вищеприведеному діапазоні технологічних параметрів.

7. Складені алгоритм і програма розрахунку абсорбційної колони на ЕОМ, які можуть бути використані при проектуванні систем по виробництву азотної кислоти.

8. Запропоновано обґрунтовану технологічну схему відділення абсорбції виробництва азотної кислоти при використанні концентрованих оксидів азоту, яка дозволяє одержати кислоту з масовою концентрацією до 64 %.

Основні матеріали дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Определение рациональных режимов переработки газов парокислородной конверсии аммиака /Печенко Т.И., Ворожбян М.И., Найда Н.С., Конвисар В.И. //Мат. XIV Всесоюзной научно-технической конференции по технологии неорганических веществ и минеральных удобрений.-Львов.- 1988.- С. 130.

2. Влияние нитрозности газа парокислородной конверсии аммиака на концентрацию продукционной кислоты /Конвисар В.И. и Пс-

ченко Т.И., Ворожбян М.И., Найда Н.С., Копейкина А.И. // Вестник ХПИ: технология неорганических веществ.- 1988.- Вып. 12.- N 260.- С. 48-49.

3. Влияние ряда технологических параметров на содержание растворенных оксидов азота в азотной кислоте / Конвисар В.И., Печенко Т.И., Ворожбян М.И., Найда Н.С., Лезная Н.В. // Мат. VI Всесоюзного семинара "Совершенствование агрегатов производства азотной кислоты". - Черкассы.- 1988.- С. 55.

4. Исследование влияния температуры на поглощение оксидов азота растворами азотной кислоты / Конвисар В.И., Печенко Т.И., Ворожбян М.И., Найда Н.С., Грицай Е.Н. // Вестник ХПИ: технология неорганических веществ.- 1988.- Вып. 12.- N 260.- С. 45-47.

5. Влияние основных параметров на интенсивность абсорбции газов парокислородной конверсии аммиака / Конвисар В.И., Печенко Т.И., Ворожбян М.И., Найда Н.С. // Мат. сов. "Работы в области массообменных процессов за период 1986-1990 г. по координационному плану головного подразделения" - Северодонецк.- 1989.- С. 46-47.

6. Получение 65%-ной азотной кислоты при переработке газов парокислородной конверсии аммиака / Конвисар В.И., Печенко Т.И., Ворожбян М.И., Найда Н.С., Лезная Н.В. // Мат. сов. "Работы в области массообменных процессов за период 1986-1990 г. по координационному плану головного подразделения" - Северодонецк.- 1989.- С. 48-49.

7. К вопросу создания экологически чистого производства азотной кислоты с применением кислорода / Лобойко А.Я., Черкашин В.И., Ворожбян М.И., Найда Н.С., Близнюк О.Н. // Мат. VII Всесоюзного семинара "Совершенствование агрегатов производства азотной кислоты". - Харьков.- 1991.- С. 46-48.

8. Выбор технологического режима переработки газов парокислородной конверсии аммиака в неконцентрированную азотную кислоту / Конвисар В.И., Печенко Т.И., Ворожбян М.И., Найда Н.С., Близнюк О.Н. // Мат. VII Всесоюзного семинара "Совершенствование агрегатов производства азотной кислоты". - Харьков.- 1991.- С. 55-58.

Naida N.S. The processing of concentrated nitrogen oxides to nitric acid.

The thesis for a Candidate of technical Science degree, speciality 05.17.01 - technology of inorganic substances, Kharkov State Polytechnical University, Kharkov, 1996.

The thesis containing the theoretical and experimental investigations as for technology of processing concentrated gases to nitric acid is defended.

The mathematical model of processing concentrated nitrogen oxides to nitric acid was elaborated. The model describes the process in the wide range of physico-chemical and hydrodynamic parameters.

The algorithm of the calculation of equilibrium partial pressures was suggested taking into consideration the change of the volume of gases.

The variant of technological scheme of processing concentrated nitrogen oxides to nitric acid with 62-64 % mass concentration at oxygen and vapour-oxygen ammonia conversion was considered.

Найда Н.С. Переработка концентрированных оксидов азота в азотную кислоту.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 - технология неорганических веществ, Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 1996.

Защищается диссертационная работа которая содержит теоретические и экспериментальные исследования по технологии переработки концентрированных газов в азотную кислоту.

Разработана математическая модель процесса переработки концентрированных оксидов азота описывающая данный процесс в широком диапазоне физико-химических и гидродинамических параметров процесса.

Предложен алгоритм расчета равновесных парциальных давлений с учетом изменения объема газов.

Рассмотрен вариант технологической схемы по переработке концентрированных оксидов азота в азотную кислоту с массовым содержа-

Изда Н.С. The processing of concentrated nitrogen oxides to
N. S. Issaev, N. S. Kuznetsov, N. S. ...
The thesis for a Candidate of Technical Science degree, specialty
02.17.01 - technology of inorganic substances, Kazanov State Polytechnical

University, Kazanov, 1990.
The thesis contains the theoretical and experimental investigations
as for technology of processing concentrated gas to nitric acid is demanded.

The mathematical model of processing concentrated nitrogen
oxides to nitric acid was elaborated. The model describes the process in
the wide range of physico-chemical and hydrodynamic parameters.
The algorithm of the calculation of the concentration of
nitrogen oxides and volume of gas was suggested taking into account the change of the volume

of gas.
The results of technical solution of processing concentrated
nitrogen oxides to nitric acid with 02-04 % mass concentration
are presented. The calculation was completed.
The algorithm was suggested taking into account the change of the volume
of gas.

5. Влияние параметров технологического процесса на выход азотной кислоты при окислении азотсодержащих газов.
Изда Н.С. The influence of technological parameters of the process on the yield of nitric acid when oxidizing nitrogen-containing gases.
N. S. Issaev, N. S. Kuznetsov, N. S. ...
The thesis for a Candidate of Technical Science degree, specialty
02.17.01 - technology of inorganic substances, Kazanov State Polytechnical

University, Kazanov, 1991.
The thesis contains the theoretical and experimental investigations
as for the influence of technological parameters of the process on the yield of nitric acid when oxidizing nitrogen-containing gases.
The mathematical model of the process is elaborated. The model describes the process in the wide range of physico-chemical and hydrodynamic parameters.
The algorithm of the calculation of the concentration of nitrogen oxides and volume of gas is suggested taking into account the change of the volume of gas.

6. Выбор технологического режима переработки газовых окислов азота.
Изда Н.С. The choice of technological regime of gas nitrogen oxides processing.
N. S. Issaev, N. S. Kuznetsov, N. S. ...
The thesis for a Candidate of Technical Science degree, specialty
02.17.01 - technology of inorganic substances, Kazanov State Polytechnical

University, Kazanov, 1991.
The thesis contains the theoretical and experimental investigations
as for the choice of technological regime of gas nitrogen oxides processing.
The mathematical model of the process is elaborated. The model describes the process in the wide range of physico-chemical and hydrodynamic parameters.
The algorithm of the calculation of the concentration of nitrogen oxides and volume of gas is suggested taking into account the change of the volume of gas.

7. К вопросу выбора технологического режима переработки азотсодержащих газов.
Изда Н.С. On the question of the choice of technological regime of nitrogen-containing gas processing.
N. S. Issaev, N. S. Kuznetsov, N. S. ...
The thesis for a Candidate of Technical Science degree, specialty
02.17.01 - technology of inorganic substances, Kazanov State Polytechnical

University, Kazanov, 1991.
The thesis contains the theoretical and experimental investigations
as for the choice of technological regime of nitrogen-containing gas processing.
The mathematical model of the process is elaborated. The model describes the process in the wide range of physico-chemical and hydrodynamic parameters.
The algorithm of the calculation of the concentration of nitrogen oxides and volume of gas is suggested taking into account the change of the volume of gas.

Шл. до друку 21.05.96. Формат 60x84/16. Папір друк.
Ум. друк. арк. 1-0. Тираж 100. Зам. 32-10.

Харківський державний політехнічний університет,
редакційно-видавничий відділ.
Надруковано на ризографі ХДПУ.
310002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Підп. до друку 21.05.96. Формат 60x84/16. Папір друк.
Ум. друк. арк. 1.0. Тираж 100. Зам. 32-10.

Харківський державний політехнічний університет,
редакційно-видавничий відділ.
Надруковано на ризографі ХДПУ.
310002, м.Харків, вул. Фрунзе, 21.

436521

AB 35.174