ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Костиркін Олег Володимирович

ВПЛИВ ОКИСЛЮВАЛЬНО-МАСООБМІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА КІНЕТИКУ ПЕРЕРОБКИ ОКСИДІВ АЗОТУ В АЗОТНУ КИСЛОТУ

05.17.01 - технологія неорганічних речовин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Харків - 1995

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Харківського державного політехнічного університету і кафедрі охорони праці та навколишнього середовища Харківської державної академії залізничного транспорту

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шапка Олексій Васильович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Єфімов Вячеслав Тихонович

кандидат технічних наук
Салєєва Антоніна Денисівна

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

Захист дисертації відбудеться "11" квітня 1996р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.09.10 в Харківському державному політехнічному університеті / 310002, м.Харків, МСП, вул.Фрунзе, 21 /

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.

Автореферат розісланий "28" лютого 1996р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Гринь Г.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦІ

Актуальність проблеми. Сучасне виробництво азотної кислоти займає важливе місце в хімічній промисловості. Подальший розвиток виробництва неконцентрованої азотної кислоти можливий на основі інтенсифікації усіх стадій переробки оксидів азоту в азотну кислоту, розробки технологічних рішень для діючих агрегатів без застосування енергетичних витрат для глибокої абсорбції NO_x.

Виробництво азотної кислоти зв'язано зі значним вихлопом оксидів азоту в атмосферу. Щоб запобігти цьому, сучасні агрегати виробництва азотної кислоти обладнані каталітичною очисткою від оксидів азоту, яка потребує використання дорогих каталізаторів і природного газу. Оптимізація співвідношень окислювальних та абсорбційних процесів у абсорбційній колоні шляхом внесення додаткових контактних елементів в міжтарілочний простір дає змогу більш повно абсорбувати оксиди азоту, що зменшує вихлоп нітрозних газів, дозволяє збільшити кількість продукційної азотної кислоти, а також зменшити потребу у природному газі на каталітичну очистку.

Разом з тим, питання про вплив окислювально-масообмінних елементів на кінетику переробки оксидів азоту в азотну кислоту вивчено недостатньо, що й зумовило необхідність досліджень впливу окислювально-масообмінних елементів на кислотоутворення в абсорбційних апаратах, що працюють під тиском.

Важливим також є визначення оптимальних зон розміщення окислювально-масообмінних елементів в абсорбційній колоні та їх питома поверхня, що дозволить підвищити ступінь використання оксидів азоту.

Робота виконувалась відповідно до координаційного плану, затвердженого спільною постановою ДКНТ СРСР №535 від 31.12.86, наказу Мінвузу України №132 від 16.05.89 і завдання Рівенського ВО "Азот" /договір №001-91/, де і впроваджена в цеху неконцентрованої азотної кислоти в 1992 році.

Мета роботи. Розробка нового інтенсивного способу переробки оксидів азоту в азотну кислоту з розглядом таких питань:

- вивчення впливу додаткових контактних елементів на швидкість абсорбції NO_2 азотною кислотою в лабораторних умовах;
- розробка методики оцінки впливу окислювально-масообмінних елементів при абсорбції нітрозних газів в процесі одержування неконцентрованої азотної кислоти на основні показники абсорбції;

- перевірка запропонованого технологічного рішення у промислових умовах;

- розробка математичної моделі процеса абсорбції з використанням окислювально-масообмінних елементів у широкому діапазоні технологічних параметрів і уточнення методики розрахунку абсорбційного процесу.

Наукова новизна. Вперше вивчено вплив окислювально-масообмінних елементів на кінетику переробки оксидів азоту в азотну кислоту під тиском. Одержано залежності абсолютних значень приросту кислотоутворення від розвиненої поверхні при різних значеннях концентрації азотної кислоти, тиску та швидкості газу.

Вивчений процес одержання азотної кислоти в абсорбційній колоні в умовах внесення додаткових окислювально-масообмінних елементів дозволяє у тому ж самому реакційному об'ємі колони збільшити загальну ступінь абсорбції оксидів азоту без значних додаткових енергетичних затрат.

Запропонована методика розрахунку абсорбційної колони дозволяє проаналізувати вплив окислювально-масообмінних елементів на процес кислотоутворення залежно від питомої площі окислювально-масообмінних елементів, внесених в міжтарілочний об'єм колони.

Практична цінність та реалізація результатів роботи. Наслідком теоретичних обгрунтувань та проведених досліджень є математична модель, яка дозволяє врахувати вплив окислювально-масообмінних елементів на інтенсивність процесу кислотоутворення азотної кислоти під тиском.

Результати досліджень використані на Рівенському ВО "Азот" під час реконструкції абсорбційної колони агрегату УКЛ у цеху виробництва неконцентрованої азотної кислоти.

Ефект від впровадження окислювально-масообмінних елементів є як екологічним /кількість оксидів азоту у вихлопних газах абсорбційної колони зменшується з 0,II% об. до 0,05% об./, так і економічним. Очікуваний економічний ефект складає 20,60232 млрд.карбованців /за цінами травня 1995 року/.

На захист виноситься:

I. Інтенсивний метод переробки оксидів азоту в азотну кислоту з використанням окислювально-масообмінних елементів, що забезпечують додаткове кислотоутворення в межах контактного елементу абсорбційної колони.

2. Методика обчислення інтенсифікації окислювальних і десорб-

ційних процесів на тарілці через відносне прирощення кислотоутворення.

3. Кінетичні закономірності роботи окислювально-масообмінних елементів і методика їх використання при розрахунках абсорбційного процесу у виробництві азотної кислоти.

4. Метод оцінки технологічної ефективності додаткових окислювально-масообмінних елементів.

Характеристика методології методу дослідження предмета і об'єкта. Об'єктом дослідження є технологічний засіб використання окислювально-масообмінних елементів для прискорення процесу кислотоутворення. При вивченні та дослідженні процесів, що лежать в основі технології, яка розробляється, використовувався системний підхід. Виконано комплекс розрахунково-теоретичних, аналітичних і експериментальних досліджень з використанням ЕОМ. Лабораторні дослідження проводилися на збільшеній лабораторній установці, розміри абсорбційної колони якої дозволяють впевнено змоделювати процеси, що відбуваються у виробництві. Використовувались сучасні методи дослідження, моделювання, обробки результатів, контрольно-вимірювальні прилади та методи контролю, що пройшли державну перевірку.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях Харківського політехнічного інституту в 1990-1994 роках: на ХУ Всесоюзній конференції хімічної технології неорганічних речовин, Казань, 1991; на УІІ Всесоюзному семінарі "Вдосконалення агрегатів виробництва азотної кислоти", Харків, 1991; на УІІІ Республіканській конференції "Підвищення ефективності, вдосконалення процесів і апаратів хімічних виробництв", Дніпропетровськ, 1991; на 53, 55, 57 науково-технічних конференціях кафедр інституту та спеціалістів залізничного транспорту, Харків, 1991, 1993, 1995; на міжнародній науково-технічній конференції "Екологія хімічних виробництв", Северодонецьк, 1994; на міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків, 1995.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 робіт.

Обсяг дисертації. Дисертація викладена на 101 сторінках машинописного тексту, містить 94 найменувань праць вітчизняних та закордонних авторів. Додаток викладено на 31 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ПРАЦІ

Аналітичний огляд. Зроблено аналіз літературних даних з кінетики абсорбційних процесів у виробництві неконцентрованої азотної кислоти, розглянуті питання окислення NO, абсорбції оксидів азоту водними розчинами азотної кислоти, впливу тиску, температури, швидкості нітрозного газу і наявності кисню в абсорбційній колоні на кислотоутворення. Також розглянуто вплив каталізаторів на окислення NO до NO_2. Дуже обмежені відомості /які носять якісний характер/ про вплив розвиненої поверхні на швидкість кислотоутворення, зокрема на стадію окислення NO до NO_2. Обмежені дані по впливу конструкційного оформлення процесу абсорбції на швидкість кислотоутворення та по зниженню енерговитрат. Відсутні теоретичні виклади про вплив розвиненої поверхні на проходження процесів окислення та абсорбції нітрозного газу в абсорбційній колоні. Все викладене вище й зумовило постановку завдання в даній праці - дослідити вплив окислювально-масообмінних елементів на кінетику переробки оксидів азоту в азотну кислоту у широкому діапазоні фізико-хімічних та гідродинамічних параметрів, вивчити вплив окислювально-масообмінних елементів на окислення та абсорбцію оксидів азоту, одержати математичну модель впливу їх у широкому діапазоні названих вище параметрів.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводили на збільшеній лабораторній установці, головним апаратом якої була абсорбційна колона, виготовлена з нержавіючої сталі з внутрішнім діаметром 0,1 м та висотою 2,9 м з трьома сітчастими тарілками. Відстань між тарілками від 0,6 до 1,2 м, що відповідає відстані між тарілками у промислових агрегатах. Рівень рідини на тарілках контролювався крізь оглядові віконця. Для утворення режиму незрошуваної насадки використовувалась зовнішня переливна трубка, якою кислота перетікала з тарілки, що розташована вище, на тарілку, розташовану під насадкою.

Для приготування нітрозного газу використовувалися рідкі оксиди азоту, які випаровувалися у випарнику.

Аналіз газової та рідкої фаз проводили за стандартними методиками. Дослідження були проведені в таких інтервалах змін техно-

логічних параметрів:

T - температура на тарілці 293-308 К;

C_{NO_x} - концентрація нітрозного газу 0,4-4,0 % об.;

α - окисленість нітрозного газу 35-85 %;

C_{HNO_3} - концентрація азотної кислоти 0-45 %;

P - тиск 0,35-I,2 МПа;

W - лінійна швидкість газу 0,2-0,4 м/с;

S - питома поверхня масообмінних елементів від I00 до 300 $м^2/м^3$.

На зрошення подавали розчин кислоти, який містив рівноважну кількість оксидів азоту. Показники процесу переробки оксидів азоту розраховували за формулами та в розмірностях, що прийняті серед азотників.

Для інтенсифікації процесу кислотоутворення нами був запропонований спосіб, який полягає в тому, що у міжтарілочний простір абсорбційної колони вміщуються окислювально-масообмінні елементи. Їх роль, на наш погляд, полягає в тому, що вони інтенсифікують процес окислення монооксиду азоту в діоксид, а також прискорюють процес розкладення азотистої кислоти, яка утворюється при одержанні азотної кислоти.

Для визначення параметрів, які найбільше впливають на кислотоутворення при використанні насадки, нами було проведено ряд дослідів. Спочатку експерименти проводились без насадки для одержання базових даних установки. Потім експерименти проводились з використанням насадки типу кілець Рашига, поверхня масообмінних елементів змінювалась від 0,325 до 0,975 $м^2$.

За основний показник приймали ступінь абсорбції оксидів азоту. Так як масообмін між оксидами азоту і розчинами азотної кислоти приводить до зменшення концентрації оксидів азоту по висоті абсорбційної колони і, разом з тим, до зменшення ступеня окислення нітрозних газів, то у базовому варіанті експериментів спостерігалось зменшення ступеня абсорбції від I4 % при нітрозності газів 4,5 % об. до 5 % при нітрозності газів 0,4 % об.

Внесення насадки дозволило підняти ступінь абсорбції у 2-4 рази в залежності від початкової концентрації нітрозного газу. Для зручності оцінки впливу насадки на процес кислотоутворення нами використовувалась величина приросту кислотоутворення Δf, моль/хвил , що найбільш об'єктивно відбиває кінетику кислотоутворення з урахуванням процесів окислення та абсорбції.

Розглянемо залежність приросту кислотоутворення від концентрації азотної кислоти при різних площах насадки. Результати досліджень, зображені на рис.I, показують на те, що зростання поверхні окислювально-масообмінних елементів призводить до лінійного зростання приросту кислотоутворення. Про це можна судити по зростанню ступеня абсорбції нітрозних газів. Зростання концентрації абсорбуючої кислоти приводить до росту абсолютного значення додаткового кислотоутворення і змінення кута нахилу прямої на рис.I. Це пояснюється тим, що більш високій концентрації кислоти відповідає газ більш високої концентрації оксидів азоту.

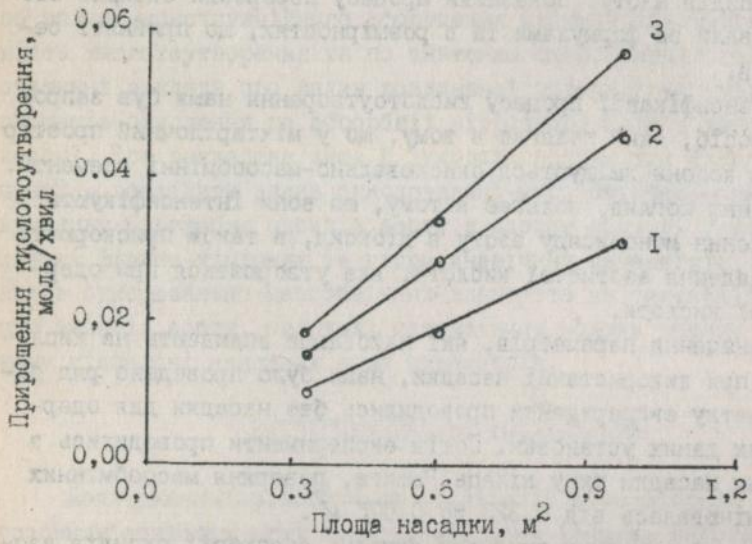

Рис.I. Залежність прирощення кислотоутворення від площі насадки при різних концентраціях азотної кислоти

T = 295-308 K; P = 0,7 МПа; W = 0,3 м/с

I - C_{HNO_3} - 5 мас.%; 2 - C_{HNO_3} - I5 мас.%; 3 - C_{HNO_3} - 25 мас.%

У верхній частині абсорбційної колони, де низька концентрація оксидів азоту, швидкість окислення оксидів азоту /II/ сповільнюється згідно з законом дії мас

$$\frac{dP_{NO_2}}{d\tau} = K_p P_{NO}^2 P_{O_2} , \qquad /I/$$

із якого видно, що швидкість реакції окислення пропорційна квад-

рату тиску оксиду азоту /II/ і парціальному тиску кисню.

Лінійна швидкість газу визначає гідродинамічні умови в колоні. З одного боку, при зростанні швидкості зростає продуктивність системи, покращується гідродинамічна обстановка на тарілці до певного значення і тому швидкість газу повинна бути найбільш високою, з іншого боку, при зростанні лінійної швидкості газу зменшується його час проходження крізь абсорбційну колону і наслідком є зменшення часу, необхідного для окислення монооксиду азоту і часу контакту фаз при абсорбції, що приводить до зменшення ККД тарілки, до зниження ступеня абсорбції і до зростання кількості оксидів азоту у хвостових газах колони. Необхідно вибирати тиск і лінійну швидкість газу в системі у їх взаємозв'язку, враховуючи при цьому необхідність досягнення максимальної швидкості кислотоутворення.

Для вивчення впливу лінійної швидкості та тиску на процес кислотоутворення при внесенні у колону насадки були проведені дослідження при різних значеннях тиску і лінійних швидкостей газу. Тиск змінювався від 0,35 до 1,2 МПа, лінійна швидкість змінювалась від 0,2 до 0,4 м/с, склад нітрозного газу, що подавався на абсорбцію, відповідав концентрації азотної кислоти на тарілці. Ефективність технологічного прийому, що досліджувався, оцінювали по величині питомого прирощення кислотоутворення $\Delta f / S$, моль/м^2·хвил.

Залежності питомого прирощення кислотоутворення від тиску та лінійної швидкості зображені на рис.2,3.

Спостерігається лінійна залежність питомого прирощення кислотоутворення від тиску та лінійної швидкості газу - це пояснюється тим, що на поверхні, куди внаслідок винесення попадає розчин азотної кислоти, утворюються сприятливі умови для розкладу азотистої кислоти з регенерацією монооксиду азоту, а також для окислення монооксиду азоту як киснем, так і парами азотної кислоти

$$NO_{газ} + 2\,HNO_{3\,пар} = 3NO_{2\,газ} + H_2O_{пар} \quad . \qquad /2/$$

В умовах абсорбції оксидів азоту протікає ряд паралельних і послідовних реакцій, роздільне дослідження яких практично неможливе. Крім того, ще маємо систему, ускладнену також і дифузійними процесами. Процес окислення монооксиду азоту при одержанні азотної кислоти протікає як у газовій, так і в рідинній фазі. При цьому величина поверхні розподілу фаз впливає на швидкість сумарного

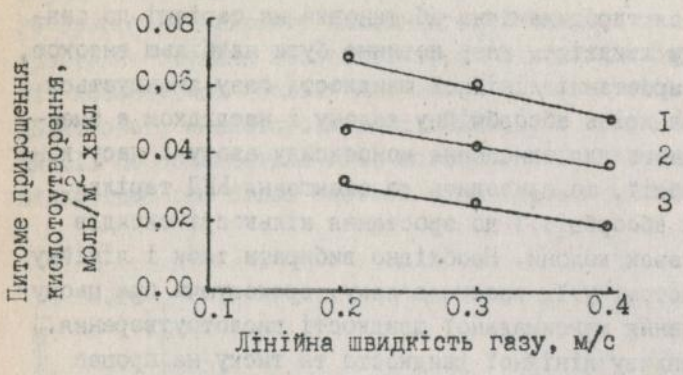

Рис.2. Залежність величини питомого прирощення кислотоутворення від лінійної швидкості газу

C_{HNO_3} = 10 мас.%; T = 295-308 K
I - P = 1,2 МПа; 2 - P = 0,7 МПа; 3 - P = 0,35 МПа

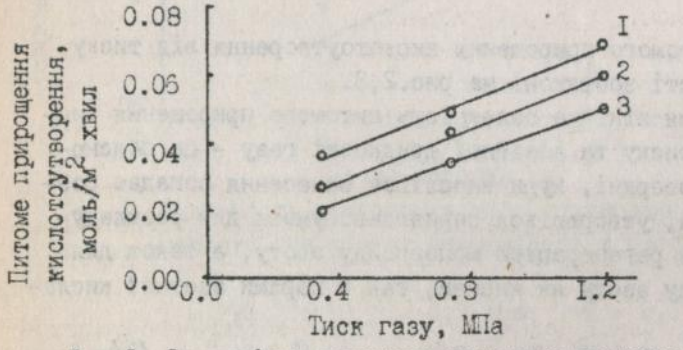

Рис.3. Залежність величини питомого прирощення кислотоутворення від загального тиску газу

C_{HNO_3} - 10 мас.%; T = 295-308 K
I - w = 0,2 м/с; 2 - w = 0,3 м/с; 3 - w = 0,4 м/с

процесу окислення монооксиду азоту в газовій і рідинній фазах. Наявність великої поверхні контакту фаз сприяє швидкій регенерації оксиду азоту /II/ і виділенню його в газову фазу. У пограничній зоні утворюється збільшена концентрація оксиду азоту /II/ і тому процес окислення протікає більш інтенсивно.

Виявлено позитивний вплив збільшення тиску газу в колоні на величину питомого приросту кислотоутворення. Зменшення останнього із ростом лінійної швидкості газового потоку, як і характер впливу тиску, вказує на переважний вплив на загальний процес кислотоутворення гомогенного окислення оксиду азоту /II/ киснем.

Вплив температури на процес кислотоутворення неоднозначний. Підвищення температури негативно впливає на процес абсорбції і на швидкість гомогенного окислення монооксиду азоту, але, разом з цим, інтенсифікується процес розкладу азотистої кислоти. Проведені нами досліди у діапазоні температур 293 - 308 К, тиску 0,32 - I,2 МПа і концентрації азотної кислоти 0 - 45 % показали, що питоме збільшення кислотоутворення суттєво не залежить від температури.

В результаті математичної обробки експериментальних даних було одержано рівняння залежності питомого прирощення кислотоутворення від таких факторів, як лінійна швидкість і тиск нітрозного газу в колоні, а також концентрації азотної кислоти на тарілці. Такі параметри, як концентрація нітрозного газу та його окисленість, в промислових умовах завжди взаємозв'язані умовами рівноваги з концентрацією азотної кислоти на будь-якій тарілці. Умовно можна прийняти, що ступінь абсорбції нітрозного газу на тарілці по висоті колони відповідає визначеній концентрації кислоти. Вплив температури на відносне збільшення кислотоутворення в нашому експерименті був несуттєвим, що дозволило відмовитись від його врахування в математичній моделі.

В кінцевому вигляді залежність питомого збільшення кислотоутворення можна виразити рівнянням

$$\frac{\Delta f}{S} = (0{,}38 + 0{,}0875 \cdot P)\left[(0{,}023 - 0{,}00485\, w) + (0{,}043 - 0{,}0302\, w)\lg C_{HNO_3}\right], \qquad /3/$$

де P - загальний тиск у колоні, МПа;

w - лінійна швидкість газу, м/с;

C_{HNO_3} - концентрація азотної кислоти на тарілці, мас.%.

Результати розрахунків показали, що значення питомого збільшення кислотоутворення, розраховані за формулою /3/, та одержані експериментальні дані збігаються з точністю 5-I0 % відн.

Доцільним є визначення ефективності кислотоутворення по висоті абсорбційної колони. Мірою цієї ефективності може бути фактор додаткового кислотоутворення на тарілці $\Delta f / f$. Проведені дослідження дозволили виявити вплив концентрації азотної кислоти на показник фактору додаткового кислотоутворення. Досліди проводились при тиску 0,7 МПа, лінійній швидкості газу 0,3 м/с, температурі 295-308 К. В дослідах спостерігалось збільшення фактору додаткового кислотоутворення при зменшенні концентрації кислоти. В результаті математичної обробки експериментальних даних було одержано рівняння, яке дозволяє оцінити ефективність використання додаткових окислювально-масообмінних елементів:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{2,35 - I,399 \lg C_{HNO_3}}{\lg C_{HNO_3}} . \qquad /4/$$

Виведене рівняння з відносним огріхом не вище I0 % описує експериментальні дані і показує, що використання додаткових окислювально-масообмінних елементів більш ефективне в середній і верхній частинах абсорбційної колони.

Алгоритм і програма розрахунків абсорбційної колони використовувались в практичних розрахунках при реконструкції абсорбційної колони агрегату УКЛ-7 на Рівенському ВО "Азот".

Дослідження впливу окислювально-масообмінних елементів на процес кислотоутворення у промисловому агрегаті УКЛ-7. На Рівенському ВО "Азот" у цеху неконцентрованої азотної кислоти на абсорбційній колоні агрегату УКЛ-7 були проведені дослідження впливу окислювально-масообмінних елементів на кислотоутворення, в яких критерієм оцінки ефективності роботи агрегату вважали концентрацію оксидів азоту на виході з абсорбційної колони або ступінь абсорбції. За базові показники було прийнято кількість оксидів азоту на виході з колони в розмірі 0,II-0,I2 % об. при навантаженні по аміаку 4300 $м^3$/годину і по повітрю 47000 $м^3$/годину.

Нами було запропоновано розмістити окислювально-масообмінні елементи у трьох зонах абсорбційної колони агрегату УКЛ-7. На першому етапі реконструкції було завантажено насадку у зоні над I4 та 22 тарілками колони. На другому етапі насадка була завантажена в зону над 7 тарілкою. На 7 та I4 тарілки була навантажена

насадка кільця Паля, на 22 тарілку - насадка марки ГІАП-3. Висота шару завантаження 0,3-0,4 м, умови проведення експерименту: тиск в абсорбційній колоні 0,7 МПа, середня температура 40 °С, концентрація продукційної кислоти 59 мас.%, концентрація вхідного нітрозного газу 5,6 % об., навантаження по аміаку 4300 м^3/год. Результати дослідів показані на рис.4.

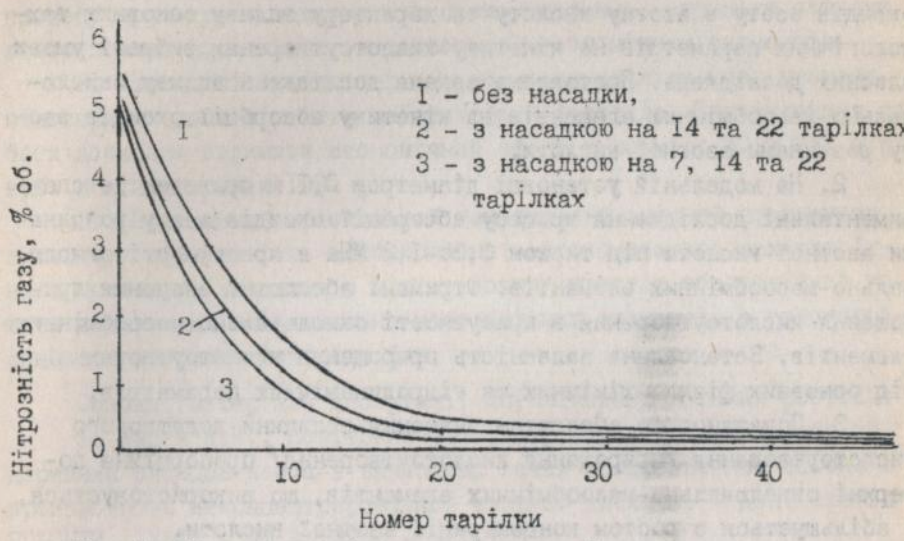

Рис.4. Залежність нітрозності газу від висоти абсорбційної колони

Використання насадки на 7, I4 та 22 тарілках дозволило знизити вміст оксидів азоту у газі, що залишає абсорбційну колону, з 0,II до 0,05 % об. Слід зазначити, що даний спосіб інтенсифікації процесу кислотоутворення не потребує додаткових енергетичних витрат та нагляду і дозволяє повніше використовувати оксиди азоту.

Техніко-економічна оцінка запропонованих технологічних рішень. В цьому розділі проведено економічний аналіз запропонованого технічного рішення - збільшення ступеня переробки оксидів азоту за рахунок внесення окислювально-масообмінних елементів в зони 7, I4 та 22 тарілок абсорбційної колони агрегату УКЛ-7. В якості базового варіанту для цих розрахунків прийнята схема УКЛ-7 Рівенського ВО "Азот" до реконструкції.

Техніко-економічні розрахунки показали, що при впровадженні

даного технічного рішення на одній абсорбційній колоні агрегату УКЛ-7 передбачуваний річний економічний ефект складе 20,60232 млрд. крб. у цінах травня 1995 р.

ВИСНОВКИ

1. На підставі детального аналізу стану питань переробки оксидів азоту в азотну кислоту та характеру впливу основних технологічних параметрів на кінетику кислотоутворення вибрані умови власних досліджень. Поставлена задача досліджень впливу окислювально-масообмінних елементів на кінетику абсорбції оксидів азоту розчинами азотної кислоти.

2. На модельній установці діаметром 0,1 м проведені експериментальні дослідження процесу абсорбції оксидів азоту розчинами азотної кислоти під тиском 0,35-1,2 МПа в присутності окислювально-масообмінних елементів. Отримані абсолютні значення прирощення кислотоутворення в присутності окислювально-масообмінних елементів. Встановлена залежність прирощення кислотоутворення від основних фізико-хімічних та гідродинамічних параметрів.

3. Показано, що абсолютне значення величини додаткового кислотоутворення /прирощення кислотоутворення/ пропорційне поверхні окислювально-масообмінних елементів, що використовується, і збільшується з ростом концентрації азотної кислоти.

4. Виявлено позитивний вплив зростання тиску газу в колоні на величину питомого збільшення кислотоутворення. Зменшення останньої величини з ростом лінійної швидкості газового потоку, як і характер впливу тиску, свідчить про переважний вплив на загальний процес кислотоутворення гомогенного окислення оксиду азоту /II/ киснем.

5. В зв'язку з протилежним впливом температури на кінетику гомогенного окислення оксиду азоту /II/ киснем і швидкість десорбції оксиду азоту /II/ суттєвої залежності відносного збільшення кислотоутворення від температури не виявлено.

6. На підставі експериментальних даних одержано рівняння для розрахунків питомого збільшення кислотоутворення $\Delta f/S = (0{,}38 + 0{,}0875 \cdot P)[(0{,}023 - 0{,}00485 w) + (0{,}043 - 0{,}0302 w) \lg C_{HNO_3}]$, що дозволяє кількісно врахувати величину додаткового кислотоутворення в присутності окислювально-масообмінних елементів.

7. Для оцінки ефективності використання додаткових окислювально-масообмінних елементів на підставі експериментальних даних виведено рівняння для розрахунків фактору додаткового кислотоутворення $\Delta f/f = (2,35 - 1,399\ lg C_{HNO_3})/lg C_{HNO_3}$. Показано, що використання додаткових окислювально-масообмінних елементів найбільш ефективне у середній та верхній частинах абсорбційної колони.

8. Запропоновані зміни в методику розрахунку абсорбційного процесу враховують додаткове кислотоутворення, отримане завдяки використанню додаткових окислювально-масообмінних елементів.

9. Проведені промислові випробування дослідженого процесу підтвердили достовірність лабораторних дослідів. Впровадження роботи дозволяє отримати економічний ефект в розмірі 20,60232 млрд. крб. в цінах травня 1995 р.

10. Проведений орієнтовний техніко-економічний розрахунок засвідчує ефективність використання запропонованого технологічного прийому - внесення в міжтарілочний простір абсорбційної колони додаткових окислювально-масообмінних елементів з високорозвиненою поверхнею контакту фаз.

Основні матеріали дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Шапка А.В., Костыркин О.В., Ворожбиян М.И. Снижение содержания оксидов азота в выхлопных газах абсорбционных колонн в производстве неконцентрированной азотной кислоты. - Деп. статья РГАСНТИ, IУ6I5 - 95.- 1995. - С.1-7.

2. Ворожбиян М.И., Костыркин О.В., Копейкина А.И. Интенсификация жидкофазных процессов как способ повышения степени переработки окислов азота // ХУ Всесоюзная конференция по химической технологии неорганических веществ.- Казань.- 1991.- С.274-275.

3. Ворожбиян М.И., Лобойко А.Я., Шапка А.В., Костыркин О.В. и др. Пути повышения степени абсорбции окислов азота в агрегатах производства неконцентрированной азотной кислоты // Харьков.- 1991.- С.39-41.

4. Шапка А.В., Ворожбиян М.И., Костыркин О.В. Интенсификация массообменных процессов в получении азотной кислоты // УIII Республиканская конференция "Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств". - Днепропетровск.- 1991.- С.125-126.

5. Шапка А.В., Ворожбиян М.И., Костыркин О.В. Лабораторная установка для исследования влияния соотношения окислительных и абсорбционных процессов на основные показатели переработки окси-

дов азота в азотнокислом производстве // 53 Научно-техническая конференция кафедр института и специалистов железнодорожного транспорта, Харьков, ХИИТ.- 1991.- С.91-92.

6. Шапка О.В., Костиркін О.В., Ворожбіян М.І. Вплив розвинутої поверхні на інтенсивність переробки оксидів азоту // 55 Науково-технічна конференція кафедр інституту та спеціалістів залізничного транспорту.- Харків, ХІІТ.- 1993.- С.53-59.

7. Ворожбиян М.И., Шапка А.В., Костыркин О.В. Снижение содержания оксидов азота в выхлопных газах азотнокислых систем // Международная научно-техническая конференция "Экология химических производств". Северодонецк.- 1994.- С.138-139.

8. Шапка А.В., Костыркин О.В., Ворожбиян М.И. Оптимизация окислительных и абсорбционных процессов в производстве неконцентрированной азотной кислоты // Информационный листок о научно-техническом достижении № 123-95.- Харьков.- ХАРИНТЭИ.- 1994.- С.1-3.

9. Ворожбиян М.И., Шапка А.В., Костыркин О.В. Влияние фактора развитой поверхности на процесс переработки оксидов азота в азотную кислоту // Международная научно-техническая конференция "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье".- Харьков.- 1995.- С.81.

Kostyrkin O.V. The influence of massexchange elements on kinetic remake from nitrogen oxides into nitrogen acid.

The thesis for a Candidate of technical Science degree,specialisation 05.17.01 - technology of neorganic substances, Kharkov State Polytechnical University, Kharkov, 1995.

The defended thesis contains theoretical and experimental researching in the field of technology of remake from nitrogenoxides into nonconcentrated nitrogen acid with application of oxidative and absorptive elements. Oxidative and absorptiveelements are supplementary contact elements. The author has formulated a kinetic equation of supplementary acid forming.Kinetic equation describes results of experiments. The aithor has offered the method registration of supplementary acid forming under calculation of absorptive process. The author has demonstrated high effectiveness of elaboration. Also industrially modificated methods of technological processinculcated by plant in Rovno.

Костыркин С.В. Влияние окислительно-массообменных элементов на кинетику переработки 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, 1995.

Защищается диссертационная работа, которая содержит теоретические и экспериментальные исследования по технологии переработки оксидов азота в неконцентрированную азотную кислоту с использованием окислительно-массообменных элементов в качестве дополнительного контактного элемента. Выведено уравнение кинетики дополнительного кислотообразования, отражающее результаты экспериментов с достаточной для практических целей точностью. Предложена методика учета дополнительного кислотообразования при расчете абсорбционного процесса. Показана достаточная технологическая эффективность разработки. Осуществлено внедрение разработанного метода на Ровенском ПО "Азот".

Ключові слова:
Кінетика, окислення, абсорбція, кислотоутворення, окислювально-масообмінний елемент, оксиди азоту, азотна кислота.

Автор висловлює подяку доцентові кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Ворожбіяну Михайлові Івановичу за постійну увагу та допомогу в проведенні цієї роботи.

Підписано до друку 22.12.95 р.
Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 1,0. Обл.-вид.арк 1,25.
Замовлення № 198. Тираж 100.

Друкарня ХарДАЗТу, 310050, Харків - 50, пл. Фейєрбаха, 7.