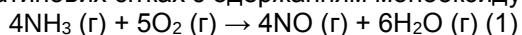


Галузь техніки, до якої належить винахід

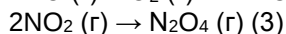
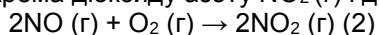
Даний винахід стосується вертикальної абсорбційної колони для виробництва водного розчину азотної кислоти у процесі виробництва азотної кислоти, і способу виробництва водного розчину азотної кислоти у процесі виробництва азотної кислоти. Більш конкретно, даний винахід стосується вертикальної абсорбційної колони і способу абсорбції, в яких оксиди азоту абсорбуються водою з використанням структурованої насадки і спеціально сконструйованого розподільвача рідини, що є новим для застосування у вказаних способі й абсорбційній колоні.

Передумови створення винаходу

Чиста азотна кислота являє собою прозору безбарвну рідину з сильним запахом. Азотну кислоту виробляють у великих кількостях здебільшого шляхом каталітичного окиснення аміаку (процес Оствальда). Аміак перетворюють на азотну кислоту у два етапи. Спочатку аміак окиснюють на платинових сітках з одержанням монооксиду азоту і води (формула 1):

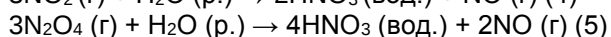
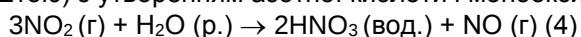


Продукт реакції з формули 1, монооксид азоту (NO), потім окиснюють до оксидів азоту NO_x, зокрема діоксиду азоту NO₂ (г) і далі до тетроксиду діазоту N₂O₄ (г) згідно з формулами 2 і 3:



Окиснення NO до оксидів азоту NO_x (які визначені в даному документі як такі, що містять щонайменше діоксид азоту NO₂ і тетроксид діазоту N₂O₄) на заводах із виробництва азотної кислоти на сьогоднішній день виконують шляхом комбінування двох способів: охолодження газу, яке зміщує рівновагу в сторону утворення NO₂; і надання достатнього часу утримання для забезпечення можливості завершення реакції гомогенного окиснення.

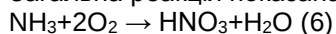
NO₂ і N₂O₄ після цього абсорбуються водою в абсорбційній колоні (також називаній абсорбційною баштою) з утворенням азотної кислоти і монооксиду азоту (формули 4 і 5):



Залишковий монооксид азоту повторно окиснюють в абсорбційній колоні до оксидів азоту для подальшого перетворення на азотну кислоту. Ефективність абсорбції, що досягається, в цілому становить 98,2–99,3 %.

Із використанням зазначеного способу одержують слабку азотну кислоту з концентрацією до 68 % (азеотроп). Завдяки процесу ректифікації концентрація азотної кислоти може бути збільшена до 99 % концентрованої азотної кислоти.

Загальна реакція показана за допомогою наступної формули 6:



Хвостовий газ абсорбційної колони, що містить продукт реакції NO та NO₂ і N₂O₄, які не прореагували, зазвичай обробляють у "блоці очищення від NO_x" перед викидом у навколишнє середовище. Без обробки хвостовий газ робить внесок у проблему забруднення повітря, і його можна впізнати за типовим червоно-коричневим шлейфом із різким запахом, що виходить із вершини абсорбційної колони.

Типова абсорбційна башта містить 30-50 горизонтальних пластин (також називаних тарілками), і лише верхні 8–9 не охолоджуються. Охолодження є необхідним для інших тарілок, оскільки всі реакції у способі виробництва азотної кислоти є екзотермічними.

Газоподібні оксиди азоту, призначені для абсорбції, відправляють на абсорбційну колону у протитечію відносно води, використовуваний для абсорбції зазначених газоподібних оксидів азоту. Азотна кислота, одержана в результаті абсорбції, тече зверху вниз абсорбційної колони. Рівновага реакції (формула 4), виражена в значеннях парціальних тисків складових, є функцією температури, при цьому низькі температури сприяють утворенню азотної кислоти. Однак діоксид азоту швидко утворює рівноважну суміш зі своїм димером, тетроксидом діазоту, останній є переважним за низької температури та високого тиску. Механізми й етапи, які контролюють швидкість утворення кислоти, змінюються з концентрацією і ступенем окиснення до тетроксиду діазоту. За високих значень концентрації тетроксиду діазоту (> 40 ваг. %) N₂O₄ відіграє основну роль в утворенні азотної кислоти. За нижчих значень концентрації тетроксиду діазоту більш важливим стає поєднання механізмів, що задіяють NO₂, N₂O₃, і HNO₂. Як наслідок, у процесі абсорбції задіяно велика кількість реакційних компонентів у газовій фазі, і модель реакції є складною, але добре відомою фахівцеві у даній галузі.

Утворення азотної кислоти шляхом абсорбції NO₂ або N₂O₄ у воді створює азотну кислоту, окиснення до якої виконують різними способами згідно з тиском у системі абсорбції. На стандартному сучасному заводі з виробництва азотної кислоти з подвійним значенням тиску середніх розмірів стиснений газ технологічного процесу, одержуваний після згоряння аміаку, подають у нижню частину абсорбційної колони, яка зазвичай являє собою колону з тарілками (пластинами), і змушують його проходити через абсорбційну колону у протитечію до води технологічного процесу, яку вводять зверху колони. Слабка/розбавлена кислота зі сконденсованої пари, що є наявною у газі технологічного

процесу, вводять на потрібній висоті абсорбційної колони. В абсорбційних колонах із тарілками окиснення газоподібних оксидів азоту продовжується у вільному просторі між тарілками, і абсорбція продовжується на тарілках. Тарілки являють собою ковпакові тарілки або перфоровані (ситоподібні) пластини, по яких тече рідина, у той час як газ дифундує через невеликі прорізи у сітчастій тарілці або через ковпаки. Тарілки в абсорбційній колоні оснащені засобами охолодження для відведення тепла абсорбції, особливо в нижній частині колони. Хвостовий газ, який містить оксиди азоту, піддають обробці для видалення оксидів азоту або зниження їх вмісту у відпрацьованому газі перед подачею до розширювальної турбіни для повернення енергії стиснення. Одержану азотну кислоту пропускають через відбілювальну колону, в якій розчинені гази NO_x відділяють з азотної кислоти.

Основним промисловим відходом заводу з виробництва азотної кислоти є хвостовий газ, який містить оксиди азоту від абсорбера. Викиди хвостового газу можуть бути зведені до мінімуму завдяки оптимізації умов процесу, збільшенню ефективності абсорбції та/або використанню спеціальних способів обробки хвостового газу. Певна частина інвестицій, спрямованих на зменшення кількості оксидів азоту, повертаються завдяки збільшеному виходу продукту у вигляді азотної кислоти. Однак вимога щодо зниження викидів оксиду азоту часто не реалізується через економічні та виробничі вимоги.

Конструювання абсорбційних колон для виробництва азотної кислоти є спеціалізованим процесом, що вимагає індивідуального проектування на кожному етапі абсорбції відповідно до його вимог до охолодження і об'ємів повітря або іншого кисневмісного газу, які потрібні для окиснення оксидів азоту. Традиційний спосіб виробництва азотної кислоти потребує значних інвестицій, і завод займає значну площу. Таким чином, існує потреба у наданні більш ефективного способу виробництва азотної кислоти порівняно з традиційною індустрією, також існує потреба у зменшенні площі, яку займає завод з виробництва азотної кислоти. Більш важливо, з природоохоронних міркувань, існує потреба у більш екологічному виробництві азотної кислоти, внаслідок чого вміст газоподібних оксидів азоту у хвостовому газі має бути зведений до мінімуму.

Попередній рівень техніки

У патенті EP 0256533 A (Norsk Hydro, 28 жовтня 1992 р.) описані спосіб і апарат, призначені для зменшення вмісту оксиду азоту до 200 ppm у відпрацьованих газах з абсорбційної колони для виробництва азотної кислоти. Щоб досягти меншої кількості діоксиду азоту (NO_2) у відпрацьованому газі, відношення площі контакту до вільного газового простору і налаштовують шляхом збільшення водозливного напору рівня рідини і проміжків для окиснення між пластинами. Також зменшення висоти простору над найвищою пластиною приводить до зменшення окиснення NO до NO_2 .

У документі WO 02/083260 A2 (Koch-Glitsch LP, 24 жовтня 2002 р.) розкрито розподільувач рідини у колоні масообміну, що розподіляє рідину по шару масообміну, який знаходиться нижче, що містить один або більше нерегулярних, сіткових або структурованих елементів насадки. Зубчастий злив використовується для розподілу рідини через спрямовані вниз зубці зубчастого зливу по шару масообміну, який знаходиться нижче. Застосування в абсорбційній башті на етапі абсорбції способу виробництва азотної кислоти не зазначене, як не зазначене і застосування зубчастого зливу для розподілу рідини через спрямовані вгору зубці зубчастого зливу по перфорованим тарілкам розподільувача рідини.

В документі US 4816191 (Koch Engineering Company, 28 березня 1989 р.) розкрито розподільувач рідини для газорідинної контактної колони, який також містить зубчастий злив для розподілу рідини через спрямовані вниз зубці зубчастого зливу по колоні, що знаходиться знизу. Структуровані насадки не зазначені.

В документі WO 2020/169465 A1 (Yara International ASA, 2020) розкрита вертикальна відбілювальна башта для видалення розчинених оксидів азоту з водного розчину азотної кислоти з використанням віддувного газу, такого як повітря, азот, кисень або їх комбінації у способі виробництва азотної кислоти, що містить структуровану насадку; розподільувач рідини, що містить живильник, який має зубчастий злив для розподілу водного розчину азотної кислоти, що містить розчинені оксиди азоту, через спрямовані вгору зубці зубчастого зливу по перфорованим тарілкам розподільувача рідини і є розташованим над структурованою насадкою для розподілу водного розчину азотної кислоти, що містить розчинені оксиди азоту, по структурованій насадці; впускний отвір і випускний отвір, обидва з яких є придатними для водного розчину азотної кислоти; і впускний отвір і випускний отвір, обидва з яких є придатними для віддувного газу. У ньому не розкрито поєднання як тарілок, так і структурованої насадки. У ньому також не розкрито окремий впускний отвір для додавання газоподібного кисню до відбілювальної башти.

Використання структурованої насадки в масообмінних колонах в цілому відомо, наприклад у процесах дистиляції, розділення і деяких процесах абсорбції (див. останні в статті Decanini et al. Ind. Eng. Chem. Res. 2000, 39, 5003-5011). Хоча структурована насадка має переваги над стандартною насадкою або іншими внутрішніми елементами в колоні, існують декілька аспектів, які вплинули на використання структурованої насадки у процесах масообміну, такі як суттєво вища вартість, складнощі в експлуатації через, окрім іншого, умови заводнення і керування теплом. Структурована насадка не

була застосована в абсорбційних колонах у способі виробництва азотної кислоти. Через екзотермічні реакції абсорбції кількість теплоти абсорбції буде дуже високою в абсорбційній колоні, оснащений структурованою насадкою, і буде необхідне забезпечення зовнішнього охолодження, що ускладнить загальний процес.

Таким чином, залишається потреба в абсорбційній колоні, що забезпечує можливість більш ефективної абсорбції газоподібних оксидів азоту, що, у свою чергу, дозволяє зменшити габарити абсорбційної колони та/або зменшити викиди оксидів азоту на випускному отворі абсорбційної башти.

Суть винаходу

Згідно з першим аспектом даного винаходу розкрита вертикальна абсорбційна колона, призначена для абсорбції оксидів азоту з газу технологічного процесу, що містить зазначені оксиди азоту, водою, для виробництва водного розчину азотної кислоти. Абсорбційна колона містить:

- розподільувач рідини, що містить живильник, який має зубчастий злив для розподілу рідини через спрямовані вгору зубці зубчастого зливу по перфорованим тарілкам розподільувача рідини і є розташованим безпосередньо над структурованою насадкою;
- структуровану насадку;
- пластинчасту насадку, що містить сукупність горизонтальних пластин, оснащену засобами охолодження;
- впускний отвір для додавання кисню до нижньої частини вертикальної абсорбційної колони;
- впускний отвір для газу технологічного процесу, що містить оксиди азоту після процесу окиснення аміаку в нижній частині вертикальної абсорбційної колони;
- впускний отвір для водного розчину у верхній частині вертикальної абсорбційної колони;
- щонайменше один випускний отвір для азотної кислоти внизу вертикальної абсорбційної колони;
- і
- випускний отвір для хвостового газу, що містить оксиди азоту, зверху вертикальної абсорбційної колони.

Несподівано авторами даного винаходу було виявлено, що структурована насадка в абсорбційній колоні у поєднанні з розподільувачем рідини, що містить живильник, який має зубчастий злив для розподілу рідини через спрямовані вгору зубці зубчастого зливу по перфорованим тарілкам розподільувача рідини, забезпечує більш ефективну абсорбцію газоподібних оксидів азоту, що в свою чергу дозволяє зменшити габарити абсорбційної колони та/або зменшити викиди оксиду азоту на випускному отворі абсорбційної башти.

Згідно з другим аспектом даного винаходу розкрито спосіб абсорбції для виробництва водного розчину азотної кислоти шляхом абсорбції оксидів азоту з газу технологічного процесу, що містить оксиди азоту, водою у вертикальній абсорбційній колоні згідно з даним розкриттям. Спосіб включає етапи:

- подачі водного розчину зверху вертикальної абсорбційної колони через розподільувач рідини; причому водний розчин переважно являє собою воду технологічного процесу, що по суті не містить оксидів азоту;
- забезпечення можливості руху водного розчину вниз у вертикальну абсорбційну колону через структуровану насадку і пластинчасту насадку; і
- приведення в контакт водного розчину з газом технологічного процесу, що містить оксиди азоту після процесу окиснення аміаку, що рухається у напрямку протитечії відносно водного розчину через структуровану насадку і пластинчасту насадку.

Згідно з третім аспектом даного винаходу розкритий спосіб виробництва азотної кислоти. Спосіб включає етапи:

- окиснення аміаку з утворенням монооксиду азоту;
- окиснення монооксиду азоту до інших оксидів азоту, переважно NO_2 і N_2O_4 ;
- абсорбція оксидів азоту водою у вертикальній абсорбційній колоні згідно з абсорбційною колоною за даним винаходом з утворенням водного розчину азотної кислоти;
- видалення розчинених оксидів азоту з водного розчину азотної кислоти з використанням відбілювальної колони;
- повернення видалених оксидів азоту в абсорбційну колону згідно з абсорбційною колоною за даним винаходом для подальшого перетворення видалених оксидів азоту на азотну кислоту.

Згідно з четвертим аспектом даного винаходу розкритий спосіб зведення до мінімуму кількості газоподібних оксидів азоту у хвостовому газі з вертикальної абсорбційної колони згідно з даним винаходом, у способі абсорбції згідно з даним винаходом або у способі виробництва азотної кислоти згідно з даним винаходом. Спосіб включає етапи:

- підтримання температури 2-5 найвищих горизонтальних пластин у діапазоні від 5 до 35 °C, та/або
- підтримання концентрації оксидів азоту у газі технологічного процесу у вільному просторі між 2-5 найвищими горизонтальними пластинами меншою за 5000 ppm (об.), переважно від 100 до 5000 ppm (об.), більш переважно від 100 до 2000 ppm (об.), ще більш переважно від 150 до 250 ppm (об.).

Згідно з п'ятим аспектом даного винаходу розкрито використання вертикальної абсорбційної

башти згідно з даним винаходом, для абсорбції оксидів азоту з газу технологічного процесу, що містить зазначені оксиди азоту, водним розчином для виробництва водного розчину азотної кислоти у способі виробництва азотної кислоти.

Згідно з шостим аспектом даного винаходу розкрито використання, у вертикальній абсорбційній башті згідно з даним винаходом, спрямоване на абсорбцію оксидів азоту з газу технологічного процесу, що містить зазначені оксиди азоту, водою для виробництва водного розчину азотної кислоти у способі виробництва азотної кислоти, структурованої насадки у поєднанні з розподільником рідини, що містить живильник, який має зубчастий злив для розподілу рідини через спрямовані вгору зубці зубчастого зливу по перфорованим тарілкам розподільника рідини, і є розташованим безпосередньо над структурованою насадкою для розподілу рідини по структурованій насадці.

Стислий опис графічних матеріалів

На фіг. 1 показане схематичне представлення абсорбційної башти згідно з даним винаходом;

на фіг. 2 показане схематичне представлення структурованої насадки, використовуваний в абсорбційній башті згідно з даним винаходом;

на фіг. 3 показане схематичне представлення абсорбційної башти згідно з даним винаходом із рециркуляційним контуром для азотної кислоти.

На фіг. 4 показане зображення прикладу розподільника рідини для використання у поєднанні зі структурованою насадкою в абсорбційній башті, де демонструється спрямований вгору зубчастий злив.

На фіг. 5 показане зображення перфорованих тарілок розподільника рідини, розташованого безпосередньо на структурованій насадці у вертикальній абсорбційній башті.

Докладний опис винаходу

В описі і формулі даного винаходу слова "містити" і їх похідні означають "включно, але без обмеження", і вони не призначені для виключення інших фрагментів молекул, добавок, компонентів, цілих частин або етапів. В описі і формулі даного винаходу форма однини охоплює форму множини, якщо контекст не вимагає іншого. Зокрема, там де використовуються граматичні конструкції, характерні для однини, у даному описі їх слід розуміти як такі, що передбачають не тільки однину, але також і множину, якщо контекст не вимагає іншого.

Ознаки, цілісні частини, характеристики, сполуки, хімічні фрагменти молекул або групи, описані стосовно одного конкретного аспекту, варіанта здійснення або прикладу за даним винаходом, слід розуміти як застосовні до будь-якого іншого аспекту, варіанта здійснення або прикладу, описаного в даному документі, за умови відсутності протиріч між ними. Усі ознаки, розкриті в даному описі (включно зі супровідною формулою винаходу, рефератом і графічними матеріалами), та/або всі етапи способу або процесу, розкриті таким чином, можуть бути об'єднані в будь-якому поєднанні, за винятком поєднань, де щонайменше деякі з таких ознак та/або етапів є взаємовиключними. Дане розкриття не обмежене деталями будь-якого з подальших варіантів здійснення. Дане розкриття охоплює будь-яку новітню ознаку або будь-яке новітнє поєднання ознак, розкритих у даному описі (включно зі супровідною формулою винаходу, рефератом і графічними матеріалами), або будь-який новітній спосіб або будь-яке новітнє поєднання етапів будь-якого способу або процесу, описаного таким чином.

Нумерація числових значень за допомогою кількісних діапазонів передбачає всі значення і частки цих діапазонів, а також зазначені кінцеві точки. Фраза "в діапазоні ...—..." або "в діапазоні від...до..." у контексті діапазону, придатного для вимірювання величини, такої як параметр, кількість, період часу тощо, призначена для включення граничних значень розкриваного діапазону.

Згідно з першим аспектом даного винаходу розкрита вертикальна абсорбційна колона, призначена для абсорбції оксидів азоту з газу технологічного процесу, що містить зазначені оксиди азоту, водою, для виробництва водного розчину азотної кислоти. Абсорбційна колона містить:

- розподільник рідини, що містить живильник, який має зубчастий злив для розподілу рідини через спрямовані вгору зубці зубчастого зливу по перфорованим тарілкам розподільника рідини і є розташованим безпосередньо над структурованою насадкою;

- структуровану насадку;

- пластинчасту насадку, що містить сукупність горизонтальних пластин, оснащену засобами охолодження;

- впускний отвір для додавання кисню до нижньої частини вертикальної абсорбційної колони;

- впускний отвір для газу технологічного процесу, що містить оксиди азоту після процесу окиснення аміаку в нижній частині вертикальної абсорбційної колони;

- впускний отвір для водного розчину у верхній частині вертикальної абсорбційної колони;

- щонайменше один випускний отвір для азотної кислоти внизу вертикальної абсорбційної колони;

- i

- випускний отвір для хвостового газу, що містить оксиди азоту, зверху вертикальної абсорбційної колони.

У контексті даного документа водний розчин вибрано з групи, що складається з води, або розчину

азотної кислоти у воді концентрацією до 0,5 ваг. %, або до 1 ваг. % нітрату амонію у воді, або їх комбінації.

Може бути зроблене посилання на фіг. 1 і 3, на яких показана абсорбційна башта 1 згідно з даним винаходом, яка містить структуровану насадку 2, впускний отвір для газу технологічного процесу, впускний отвір для хвостового газу 4, впускний отвір 5 для конденсату води або азотної кислоти або конденсату нітрату амонію, і впускний отвір 6 для азотної кислоти.

Несподівано авторами даного винаходу було виявлено, що структурована насадка в абсорбційній колоні у поєднанні з розподільвачем рідини, що містить живильник, який має зубчастий злив для розподілу рідини через спрямовані вгору зубці зубчастого зливу по перфорованим тарілкам розподільвача рідини, забезпечує більш ефективну абсорбцію газоподібних оксидів азоту, що в свою чергу дозволяє зменшити габарити абсорбційної колоні та/або зменшити викиди оксидів азоту на впускному отворі абсорбційної башти.

Приклади структурованих насадок являють собою гофровані тонкі металеві листи (наприклад, товщиною 1–2 мм), розширені металеві конструкції, металеву сітку, причому листи розміщені вертикально і гофри орієнтовані під кутом відносно вертикальної осі (фіг. 2). Гофровані металеві листи можуть бути перфоровані та/або мати текстурну поверхню. Матеріал структурованої насадки має бути стійким до корозійного середовища і температури в абсорбційній колоні протягом тривалого часу. Придатні матеріали являють собою кислотостійкі різновиди сталі, придатні пластикові матеріали і титан. Крім того, секція зі структурованою насадкою повинна мати механічну міцність, достатню для підтримки ваги насадки і рідини за робочих умов.

На фіг. 4 представлено зображення розподільвача рідини для використання у поєднанні зі структурованою насадкою у вертикальній абсорбційній башті у процесі виробництва азотної кислоти згідно з даним винаходом. Розподільвач рідини містить наступні елементи: зубчастий злив 301, живильник 302, тарілка (тарілки) 303 і сітка 304. Розподільвач рідини поміщений зверху структурованої насадки у вертикальній абсорбційній башті у колонії/башті хімічного заводу. Водний розчин подається на живильник 302. Водний розчин розподіляється по перфорованим тарілкам через зубчастий злив. Внизу перфорованих тарілок є багато маленьких прорізів. Таким чином оптимізується розподіл водного розчину по перфорованих тарілках, оптимізується площа поверхні між водним розчином і газоподібним оксидом азоту, кількість оксиду азоту, що протікає в секцію абсорбції, зберігається мінімальною, і оптимізується перепад тиску.

На фіг. 5 показано зображення перфорованих тарілок 402 розподільвача рідини, де перфоровані тарілки 402 поміщені безпосередньо на структуровану насадку 401.

Розподільвач рідини містить живильник для прийому водного розчину, що поступає в абсорбційну башту. Водний розчин розподіляється з живильника по перфорованим тарілкам.

Живильник має спрямований вгору зубчастий злив. Зубчастий злив може бути розташований на одному поздовжньому краї або обох поздовжніх краях живильника. Водний розчин розподіляється з живильника через зубці по перфорованим тарілкам. Застосування зубчастого зливу і його розташування всередині розподільвача робитиме подальший внесок в оптимізацію масообміну між оксидами азоту і водним розчином.

Різноманітні форми зубців зливів, такі як V-подібні зубці, корончаті зубці, U-подібні зубці, можуть забезпечувати однаковий або подібний ефект. Під терміном "зубчастий злив" слід розуміти не тільки такий, що передбачає пилкоподібну форму, але також і інші нелінійні форми, що забезпечують такий самий або подібний ефект розподілу водного розчину.

У ще одному варіанті здійснення живильник може мати прорізи в нижній частині та/або стінках для розподілу водного розчину по перфорованим тарілкам. Прорізи можуть бути круглими або можуть мати форму вертикальних або горизонтальних щілин.

Нижня частина живильника може бути розташована вище за перфоровані тарілки. В іншому варіанті здійснення нижня частина живильника може бути розташована на тій самій висоті, що і нижня частина перфорованих тарілок. Якщо живильник містить зубчастий злив, зубці мають бути розташовані вище за верхній край перфорованих тарілок.

Перфоровані тарілки для розподілу рідини можуть бути розташовані на опорних сітках або безпосередньо на структурованій насадці.

Згідно з даним винаходом секція абсорбційної колоні з рівня техніки, яка має традиційні тарілки і не має жодної структурованої насадки, замінена секцією зі структурованою насадкою. За допомогою заміни традиційних тарілок структурованою насадкою в даній секції абсорбційної колоні габарити абсорбційної колоні можуть бути суттєво зменшені, особливо може бути зменшена висота колоні. Крім того, завдяки заміні традиційних тарілок структурованою насадкою у секції кількість газоподібних оксидів азоту у хвостовому газі суттєво зменшується, що також веде до збільшеного виходу у процесі виробництва азотної кислоти. Дуже велика площа поверхні секції зі структурованою насадкою забезпечує дуже велику поверхню розділення "газ-рідина", забезпечуючи високий масообмін. Велика поверхня розділення "газ-рідина" веде до значного збільшення ефективності абсорбції газоподібних оксидів азоту у рідині порівняно з традиційними абсорбційними тарілками. Крім того, велика поверхня

розділення "газ-рідина" також приводить до збільшеної швидкості десорбції і окиснення утворених газоподібних оксидів азоту. У випадку, коли абсорбційна колона, що складається по суті з неструктурованої насадки у формі сітчастих тарілок, була модифікована так, щоб містити структуровану насадку, викиди оксидів азоту зменшилися за розрахунками з 5200 ppm до 3200 ppm.

Згідно з одним варіантом здійснення абсорбційної колони за даним винаходом розподільувач рідини і структурована насадка розміщені між впускним отвором для води і найвищою горизонтальною пластиною пластинчастої насадки, і рідина являє собою воду.

Особливо переважною є наявність структурованої насадки, розміщеної в найвищій частині абсорбційної башти. Певна річ, тепло абсорбції, одержуване в результаті абсорбції газоподібних оксидів азоту водою або розбавленою азотною кислотою є максимальним внизу абсорбційної башти, де гази на вході мають дуже високу температуру і максимальну концентрацію всередині башти. Відповідно абсорбція газоподібних оксидів азоту є максимальною внизу абсорбційної башти. Максимальна теплота абсорбції генерується, таким чином, внизу абсорбційної башти і може бути достатньою мірою відновленою лише коли використовується достатньо холодне охолоджувальне середовище, таке як вода або аміак, з використання системи охолодження. Достатнє охолодження води представлятиме великі витрати. Таким чином, приведення до максимуму абсорбції внизу абсорбційної башти передбачає супутні витрати енергії, використовуваної для охолодження води, застосовуваної у теплообмінній системі для повернення тепла абсорбції, що утворюється в результаті абсорбції газоподібних оксидів азоту.

Навпаки, в найвищій частині башти концентрація газоподібних оксидів азоту зменшена відносно концентрації газоподібних оксидів азоту, що входять до абсорбційної башти з її низу: зрозуміло, коли газоподібні оксиди азоту рухаються знизу до верхівки башти, їх концентрація зменшується, оскільки вони послідовно поглинаються за допомогою горизонтальних пластин, з яких складається пластинчаста насадка. Таким чином, абсорбція газоподібних оксидів азоту зверху абсорбційної башти припускається менш ефективною, ніж внизу башти. Таким чином, використання структурованої насадки є особливо сприятливим у найвищій частині башти. Окрім того, оскільки концентрація газоподібних оксидів азоту в найвищій частині абсорбційної башти нижча за відповідну концентрацію внизу абсорбційної башти, тепло, що генерується під час абсорбції газоподібних оксидів азоту, є меншим, так що система теплообміну з, наприклад, водою, температура якої перебуває в діапазоні від 5 до 45 °C, буде достатньою для повернення тепла абсорбції.

Авторами даного винаходу було виявлено, що заповнення верхньої секції традиційної абсорбційної колони без структурованої насадки структурованою насадкою приведе до суттєво зниженої концентрації газоподібних оксидів азоту у хвостовому газі, таким чином збільшуючи вихід процесу виробництва азотної кислоти. Виходячи з великих виробничих об'ємів на заводі з виробництва азотної кислоти, такий збільшений вихід дасть значні заощадження, як стосовно більшої кількості одержаної азотної кислоти, так і стосовно меншої потреби в зменшенні кількості оксидів азоту. Завдяки розміщенню структурованої насадки на верхній секції абсорбційної колони немає потреби в охолодженні шляхом теплообміну. Вода технологічного процесу, додавана над структурованою насадкою, забезпечуватиме достатнє охолодження секції зі структурованою насадкою з метою проходження реакцій ефективним чином. Зокрема, абсорбційна башта може містити п'ятдесят тарілок, і при цьому вісім-дев'ять найвищих тарілок всередині абсорбційної башти містять структуровану насадку і не охолоджуються.

Коли ефективність абсорбції є максимальною зверху, можлива експлуатація зі зменшеним діаметром верхньої секції. Таким чином, в одному варіанті здійснення абсорбційної колони згідно з даним винаходом передбачена нова конструкція верхньої секції абсорбційної колони.

Згідно з одним варіантом здійснення абсорбційної колони за даним винаходом кисень являє собою газоподібний кисень, і впускний отвір для газу технологічного процесу і впускний отвір для додавання газоподібного кисню є окремими впускними отворами. Завдяки забезпеченню надлишкового кисню, переважно у вигляді газоподібного кисню, більше NO перетворюється на оксиди азоту. Цей ефект відомий з Kankani et al., Chemical Engineering Journal, 278 (2015) ст. 430–446. Переважно абсорбційна колона за даним винаходом сконструйована так, щоб справлятися з більшою кількістю оксидів азоту, тим самим знову підвищуючи ефективність абсорбції.

Згідно з одним варіантом здійснення абсорбційної колони за даним винаходом розподільувач рідини і структурована насадка розміщені між найнижчою горизонтальною пластиною пластинчастої насадки і впускним отвором газу технологічного процесу, який містить оксиди азоту, і рідина являє собою водний розчин азотної кислоти.

Оскільки концентрація газоподібних оксидів азоту найвища внизу колони, особливо важливо мати ефективну абсорбцію у цій нижній частині башти, з метою запобігання викидам оксидів азоту, що виходять із башти.

Згідно з одним варіантом здійснення абсорбційної колони за даним винаходом абсорбційна колона додатково містить засоби для вимірювання температури водного розчину азотної кислоти на одній або більше горизонтальних пластинах пластинчастої насадки і, переважно, додатково містить засоби

для вимірювання концентрації газоподібних оксидів азоту у вільному просторі між двома суміжними горизонтальними пластинами пластинчатої насадки. Засоби для вимірювання температури є особливо корисними для вирахування розрахункового тепла, одержуваного в результаті абсорбції газоподібних оксидів азоту абсорбційною рідиною і забезпечують те, що температура охолоджувального середовища в теплообмінній системі є придатною для повернення цієї теплоти абсорбції. Крім того, як описано стосовно вимірювання температури газоподібних оксидів азоту, вимірювання концентрації газоподібних оксидів азоту має забезпечити можливість фахівцеві у даній галузі вирахування розрахункового тепла, одержуваного в результаті абсорбції газоподібних оксидів азоту абсорбційною рідиною, і гарантувати оптимальність робочих умов теплообмінної системи для повернення тепла, згенерованого після абсорбції газоподібних оксидів азоту. Ще однією перевагою є той факт, що можливо налаштувати параметри абсорбції і зменшення кількості для даної технології так, щоб вони не перевищували дозволених рівнів викидів.

Згідно з одним варіантом здійснення абсорбційної колони за даним винаходом засоби охолодження являють собою один або більше охолоджувальних змійовиків, що містять охолоджувальне середовище, накладені поверх горизонтальної пластини пластинчатої насадки. Ця конструкція і компонування забезпечують оптимальне перенесення тепла між абсорбційним середовищем і охолоджувальним середовищем. Переважно засоби охолодження являють собою один або більше охолоджувальних змійовиків, і охолоджувальні змійовики вибрані з неізольованих труб, труб, розташованих у шаховому порядку, ребристих труб або будь-якої їх комбінації. Було виявлено, що така система оптимальним чином досягає максимального повернення тепла, згенерованого після абсорбції газоподібних оксидів азоту. Переважно початкова температура охолоджувального середовища в охолоджувальних змійовиках становить від 5 до 45 °C. В межах такого діапазону температур досягається максимальне повертання тепла, що генерується через абсорбцію газоподібних оксидів азоту.

Згідно з одним варіантом здійснення абсорбційної колони за даним винаходом структурована насадка має площу поверхні, яка становить щонайменше 250 м²/м³, переважно 450–750 м²/м³. За цих умов досягається максимальна абсорбція газоподібних оксидів азоту.

Згідно з одним варіантом здійснення абсорбційної колони за даним винаходом розподільувач рідини має щільність крапельних точок, яка становить щонайменше 30 крапельних точок на м², переважно від 60 до 200 крапельних точок на м². За цих умов досягається максимальна абсорбція газоподібних оксидів азоту.

Згідно з одним варіантом здійснення абсорбційної колони за даним винаходом структурована насадка виконана з кислотостійкої нержавіючої сталі, титану або інших кислотосумісних матеріалів. Таким чином, обслуговування і заміна структурованої насадки зведені до мінімуму через збільшений строк служби насадки.

Згідно з другим аспектом даного винаходу розкрито спосіб абсорбції для виробництва водного розчину азотної кислоти шляхом абсорбції оксидів азоту з газу технологічного процесу, що містить оксиди азоту, водним розчином у вертикальній абсорбційній колоні згідно з даним винаходом, який включає етапи:

- подачі водного розчину зверху вертикальної абсорбційної колони через розподільувач рідини; причому водний розчин переважно являє собою воду технологічного процесу, що по суті не містить оксидів азоту;
- забезпечення можливості руху водного розчину вниз у вертикальну абсорбційну колону через структуровану насадку і пластинчасту насадку; і
- приведення в контакт водного розчину з газом технологічного процесу, що містить оксиди азоту після процесу окиснення аміаку, що рухається у напрямку протитечії відносно водного розчину через структуровану насадку і пластинчасту насадку.

Спосіб абсорбції включає використання вертикальної абсорбційної колони за даним винаходом, із використанням традиційних етапів, які також придатні до застосування до традиційних колон. Однак спосіб за даним винаходом забезпечує кращу абсорбцію газоподібних оксидів азоту водним розчином, використовуваним як абсорбційна рідина, і є, таким чином, більш ефективним. Як водний розчин може бути використана вода, така як вода технологічного процесу, а також водний розчин азотної кислоти або нітрату амонію. Переважно як водний розчин використовується вода технологічного процесу. Таким чином, абсорбція газоподібних оксидів азоту буде зведена до максимуму, оскільки вода не містить оксидів азоту, здатність до абсорбції газів буде максимальною перед досягненням рівноважних концентрацій оксидів азоту в газовій фазі і в воді.

Зроблено посилання на фіг. 3. Згідно з одним варіантом здійснення згідно зі способом абсорбції за даним винаходом спосіб додатково включає етап повернення частини створеної азотної кислоти до верхівки вертикальної абсорбційної колони, де водний розчин подають через розподільувач рідини, і при цьому водний розчин складається з води і створеної азотної кислоти. Таким чином, як вага водного розчину, і, як наслідок, відношення ваги оксидів азоту до ваги водного розчину, так і концентрація створеної азотної кислоти можуть бути ефективно контрольованими. Зокрема, як

показано на фіг. 3, частину створеної азотної кислоти повертають до впускного отвору 5 за допомогою насоса 7 після її охолодження в охолоджувачі 8.

Згідно з одним варіантом здійснення способу абсорбції за даним винаходом спосіб додатково включає етап подачі кисню до нижньої частини вертикальної абсорбційної колони. Завдяки подачі надлишкового кисню більше NO перетворюється на оксиди азоту. Цей ефект відомий з Kankani et al., Chemical Engineering Journal, 278 (2015) ст. 430-446. Переважно абсорбційна колона за даним винаходом сконструйована так, щоб справлятися з більшою кількістю оксидів азоту, тим самим знову підвищуючи ефективність абсорбції.

Згідно з одним варіантом здійснення способу абсорбції за даним винаходом, газ технологічного процесу, що містить оксиди азоту після процесу окиснення аміаку, який переміщується у напрямку протитечії відносно водного розчину, має відношення "газ технологічного процесу/водний розчин" в діапазоні від 2,5 кг газу/кг водного розчину до 25 кг газу/кг водного розчину.

Згідно з одним варіантом здійснення способу абсорбції за даним винаходом перепад тиску по вертикальній абсорбційній колоні перебуває в діапазоні від 20 мбар до 500 мбар, переважно від 20 мбар до 85 мбар. Іншим важливим параметром, крім температури рідини, який впливає на вихід процесу абсорбції, є тиск у абсорбційній колоні, який переважно має становити 9-11 бар (900-1100 кПа) в абсорбційній колоні з двохрівневим тиском. Перепад тиску по структурованій насадці, за однакової висоти, нижчий за перепад тиску по сітчастій тарілці з рідким шаром. Таким чином, використання структурованої насадки підтримуватиме вищий тиск по абсорбційній колоні. Вищий тиск зверху колони покращує абсорбцію оксидів азоту і зменшує їх викиди. Концентрація створеної азотної кислоти зростає зі зростанням тиску в абсорбційній колоні. З міркувань виробничих умов, а також експлуатаційних витрат перепад тиску по абсорбційній колоні має бути якнайнижчим.

Згідно з третім аспектом даного винаходу розкритий спосіб виробництва азотної кислоти. Спосіб включає етапи:

- окиснення аміаку з утворенням монооксиду азоту;
- окиснення монооксиду азоту до інших оксидів азоту, переважно NO_2 і N_2O_4 ;
- абсорбції оксидів азоту водою у вертикальній абсорбційній колоні згідно з абсорбційною колоною за даним винаходом з утворенням водного розчину азотної кислоти;
- видалення розчинених оксидів азоту з водного розчину азотної кислоти з використанням відбілювальної колони;
- повернення видалених оксидів азоту в абсорбційну колону згідно з абсорбційною колоною за даним винаходом для подальшого перетворення видалених оксидів азоту на азотну кислоту.

Згідно з четвертим аспектом даного винаходу розкритий спосіб зведення до мінімуму кількості газоподібних оксидів азоту у хвостовому газі з вертикальної абсорбційної колони у способі абсорбції за даним винаходом або у способі виробництва азотної кислоти згідно з даним винаходом. Спосіб включає етапи:

- підтримання температури 2-5 найвищих горизонтальних пластин у діапазоні від 5 до 35 °C, та/або
- підтримання концентрації оксидів азоту у газі технологічного процесу у вільному просторі між 2-5 найвищими горизонтальними пластинами меншою за 5000 ppm (об.), переважно від 100 до 5000 ppm (об.), більш переважно від 100 до 2000 ppm (об.), ще більш переважно від 150 до 250 ppm (об.).

Згідно з п'ятим аспектом даного винаходу розкрито використання вертикальної абсорбційної колони згідно з даним винаходом для абсорбції оксидів азоту з газу технологічного процесу, що містить зазначені оксиди азоту, водним розчином для виробництва водного розчину азотної кислоти у способі виробництва азотної кислоти.

Згідно з шостим аспектом даного винаходу розкрито використання, у вертикальній абсорбційній башті згідно з даним винаходом, спрямоване на абсорбцію оксидів азоту з газу технологічного процесу, що містить зазначені оксиди азоту, водним розчином для виробництва водного розчину азотної кислоти у способі виробництва азотної кислоти, структурованої насадки у поєднанні з розподільувачем рідини, що містить живильник, який має зубчастий злив для розподілу рідини через спрямовані вгору зубці зубчастого зливу по перфорованим тарілкам розподільувача рідини, і є розташованим безпосередньо над структурованою насадкою для розподілу рідини по структурованій насадці.

Приклади

Приклад 1

Поєднання структурованої насадки і розподільувача рідини досліджували за допомогою комп'ютерного моделювання для декількох абсорбційних башт, запропонованих автором даного винаходу, з використанням води як абсорбційної рідини, і було показане суттєве покращення стосовно концентрації газоподібних оксидів азоту у хвостовому газі, що виходять із абсорбційної башти, і збільшене виробництво кислоти порівняно з початковою конструкцією башт із насадкою у вигляді сітчастих тарілок або металевих кілець. Результати показані в таблиці 1 нижче. Структурована насадка, оснащена зубчастими розподільувачами рідини, була придбана у компанії Sulzer (Вінтертур, Швейцарія).

Таблиця 1

	Одиниця вимірювання	A
Структурована насадка		
Діаметр башти	м	5,2
Висота насадки	м	12,6
Тиск абсорбції	бар	1,94
Оксиди азоту у хвостовому газі	ppm	3200
Зменшення оксидів азоту у хвостовому газі	%	38 %
Збільшення виробництва кислоти	%	2,7

Як початкові дані для покращень нижче наведені деякі дані для початкових абсорбційних башт:

Таблиця 2

	Одиниця вимірювання	A'
Неструктурована насадка, керамічні кільця Рашига		
Діаметр башти	м	5,2
Висота насадки	м	17,7
Тиск абсорбції	бар	1,94
оксиди азоту у хвостовому газі	ppm	5200

Результати явно показують покращення стосовно зменшення оксидів азоту у хвостовому газі і збільшення виробництва кислоти.

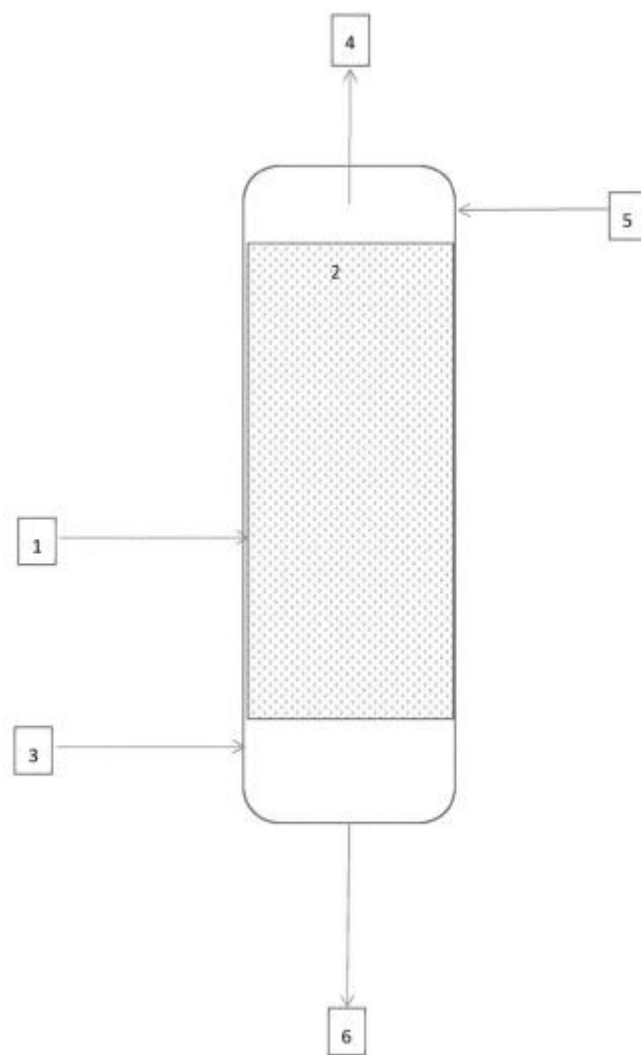


Fig. 1



Fig. 2

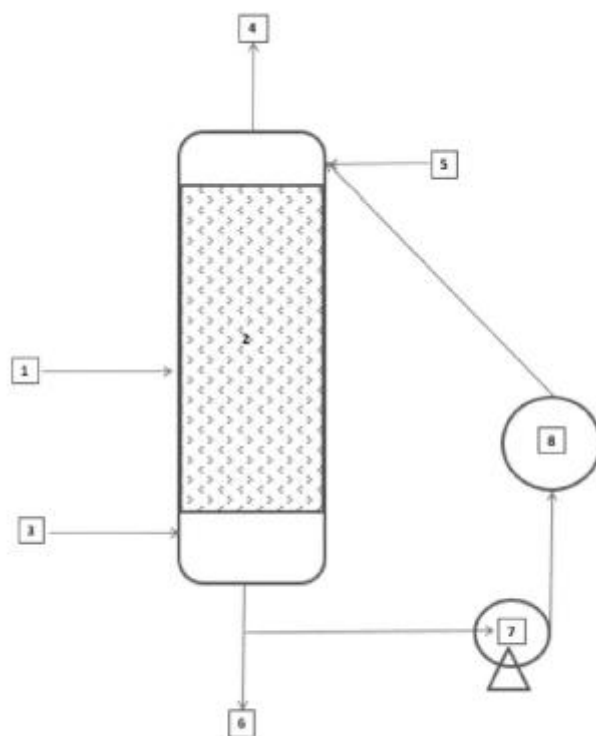


Fig. 3

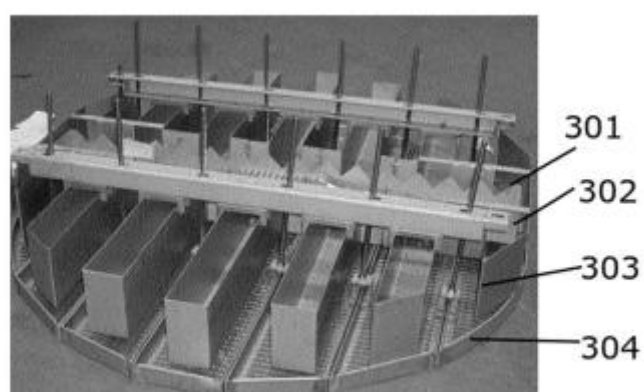
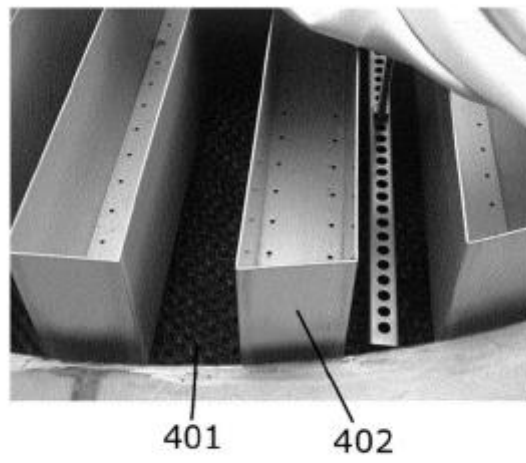


Fig. 4



Φir. 5