

6. Kriaklyna Y. V. (2014) "Matematicheskaja model' i optimizacija parametrov raboty plastinchatogo rekuperatora" [Mathematical model and optimization of the operating parameters of the plate recuperator], Inzhenernyj vestnik Dona. Vol. 28, no. 1, 2014, pp. 14.
 7. Andrzej Grzebielec, Artur Rusowicz, Adam Ruciński Analysis of the performance of the rotary heat exchanger in the real ventilation systems // The 9th International Conference "Environmental Engineering". 2014.
 8. Stefano De Antonellis, Manuel Intini, Cesare Maria Joppolo, Calogero Leone Design Optimization of Heat Wheels for Energy Recovery in HVAC Systems // Energies. 2014. Vol. 7, Issue 12, 7348-7367. doi: <https://doi.org/10.3390/en7117348>
 9. "Pryplyvno-vytiazhni ustanovky Aerostart, Aerosmart 2020" [Supply and exhaust installations Aerostart, Aerosmart 2020] [Electronic resource]. URL: http://www.ccktm.com/contentimages/catalog-ukr/Aerostart_Aerosmart_ukr.pdf (date of application: 15.11.2020).
 10. "An example of building a ventilation and air conditioning control system" [An example of building a ventilation and air conditioning control system] [Electronic resource]. URL: https://www.svaltera.ua/solutions/typical/water_supply/6863.php (date of application: 15.11.2020).
-

УДК 66.095.81

ЖУЧЕНКО А.І. докт. техн. наук проф., ОНІЩЕНКО В.О. ас., ЦАПАР В.С. к.т.н доц.,

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКТОРА ОКИСЛЕННЯ АМІАКУ В РЕЖИМІ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИХОДУ АЗОТУ

Виробництво азотної кислоти достатньо складне і ускладнене різними стадіями виробництва, основні стадії це підготовка аміачно-повітряної суміші для забезпечення та проведення процесу окислення на стадії отримання окису азоту з подальшим використанням на стадії абсорбції з отриманням кінцевого продукту азотної кислоти. У виробництві азотної кислоти особливу увагу приділяють, саме стадії окислення, на даній стадії формується основний продукт, який забезпечує отримання азотної кислоти в ході реакції азоту з водою на стадії адсорбції. Стадія окислення становить основну затратну частину при формуванні цінової функції вартості продукту виробництва, тому завдання підвищення продуктивності роботи обладнання на даній стадії, одне із важливих завдань при побудові системи керування та експлуатації реактора окислення аміаку.

В статті розглядається використання спрощеної математичної [1] моделі динаміки реакторного простору. На основі даної моделі проведені дослідження та побудована крива розгону реактора окислення АПС. Одним із важливих особливостей реактора окислення є його складна багато секційна структура [2]. Окислення проходить на трьох послідовно змонтованих шарах в реакторі. Така конструкція дозволяє збільшити швидкість потоку навантаження і збільшити вихід азоту з реактора. Тому математична модель передбачає спрощену систему рівнянь з послідовним розрахунком кожного шару в динаміці роботи реактора та технологічні параметри процесу в заданий момент часу.

Реактор окислення в статті розглядається як об'єкт автоматичного керування і описується математичною моделлю динаміки у вигляді диференціальних рівнянь. Модель динаміки реакційного об'єму відображає залежність температури в шарі контакту від потоку навантаження, а також залежність концентрації окисі азоту від швидкості потоку та температури реакційної суміші, в момент контакту з каталізатором.

Данна математична модель, адекватна дійсному перебігу процесу окислення, дозволить дослідити залежність виходу окисі азоту від заданих вхідних значень витрати на кожній секції реактора. Підвищення виходу окисі азоту дозволить збільшити продуктивність реактора, завдяки виконанню вимог до якості вихідного продукту [3] та зменшенню економічних затрат на виробництво азотної кислоти.

Запропонована математична модель дозволяє розглядати реактор з трьома шарами контакту в режимі максимального навантаження, що дозволяє отримати максимальну степінь перетворення аміачно

повітряної суміші. Отримані результати дослідження дозволяють сформулювати вимоги до системи автоматичного керування та відобразити реакцію об'єкту на зміну керованих параметрів.

Ключові слова: окислення аміаку, каталізатор, кінетична модель, каталізатор, окислення, аміак, втрати, платиноїди, механізм реакції, репродукція азотної кислоти, не стаціонарність, моделювання, синтез, швидкість перетворення, старіння каталізатора, відновлювальні властивості, система керування, моделювання процесів, багато шаровий реактор, регенерація каталізатора.

DOI: 10.20535/2617-9741.4.2020.219782

© Жученко А. І., Оніщенко В. О., Цапар В. С., 2020.

Постановка проблеми. Азотна кислота достатньо часто використовується у виробництві різноманітної продукції. Це збільшує попит на збільшення потужності виробництва азотної кислоти і в свою чергу об'єми синтезу азоту для її отримання. Дуже важливо на етапі синтезу азоту забезпечити виконання технологічних норм [1], а також забезпечити оптимальне, керування процесом. Оптимальне керування процесом повинно забезпечити максимальну степінь перетворення аміачно-повітряної суміші при мінімальних затратах на виробництво. Забезпечити такий підхід, який зменшить навантаження на каталізатор та збільшить довготривалу роботу каталізатора [2] в реакторі окислення.

Аналіз попередніх досліджень. Реактор окислення аміаку розглядається в різних літературних джерелах, але дослідження спрямовано в більшості випадків на аналіз кінетики реакційного об'єму. [4, 6–11] Дослідження реакторного простору, процесу окислення достатньо детально розглянуто в наукових публікаціях та літературних обзорах. Досить велику увагу в існуючих дослідженнях приділяють процесам в яких розглядають мольне співвідношення компонентів реагуючих речовин [3], що в свою чергу не дає особливої інформації для побудови системи керування. Мольне співвідношення реагентів в аміачно-повітряній суміші наперед визначено технологічним регламентом і чітко витримується на стадій підготовки АПС [4]. Більшість підходів до аналізу реактора спрямовані на отримання хіміко-технологічних властивостей [5] перебігу процесу без вирішення задачі дослідження оптимальних параметрів проведення процесу окислення, що в свою чергу не дає достатньої інформації про об'єкт автоматичного керування. Основною проблемою є дослідити і знайти оптимальні параметри роботи реактора окислення аміаку, які будуть забезпечувати максимальну продуктивність апарату.

Метою роботи Дослідити реактор при заданій швидкості контакту АПС значення витрат в потоках навантаження, бойпасу та охолодження та отримати максимальний вихід окис азоту на виході з реактора.

Виклад основного матеріалу. Процес окислення аміачно – повітряної на платино-родієвому каталізаторі є одним з основних стадій у виробництві азотної кислоти контактним методом [1]. Для реалізації даного процесу, а саме стадії окислення використовують реактор окислення, що дозволяє окисляти на каталізаторі аміачно-повітряно суміш в подальшому синтезувавши азот [1]. Реактор як об'єкт автоматичного керування розглядається з блочною структурою з трьох шаровим каталізатором. Вхідною речовиною, яка поступає в реактор є суміш аміаку і повітря. Залежно від типу каталізатора, який встановлений в реактор аміак і повітря змішують в певному мольному співвідношенні [2].

Реактор обладнаний трьома шарами каталізатора, така особливість спричинена навантаженнями виробництва, для збільшення кількості перетвореної аміачно-повітряної суміші в азот [3]. Вхідний потік обладнано також додатковою лінією, бойпасом. В даному випадку це необхідно для збільшення продуктивності реактора та впливу на температуру контакту з каталізатором аміачно-повітряної суміші [3]. Принципова схема роботи [4] реактора зображена на рис 1.

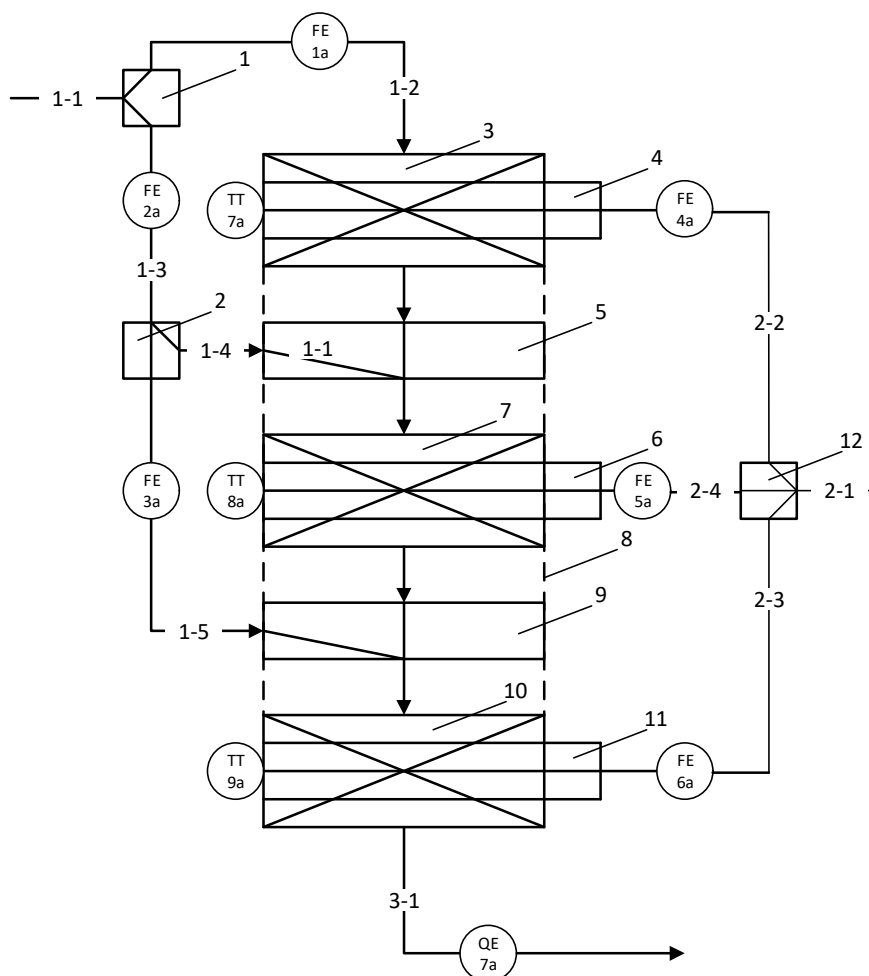


Рис. 1 – Функціональна схема реактора окислення аміаку

В шарі каталізатора присутній змійовик, який здійснює відвід тепла з каталізатору. Відведення тепла з каталізатора через змійовик [5] відбувається шляхом подачі холодоагенту (4,6,11) в ньому можуть бути водні розчини гідроксидів лужних металів або суспензія гідрату оксиду кальцію (вапняне молоко). На кожному шарі каталізатору контролюється витрата холодоагенту та температура в шарі контакту. Даний підхід забезпечує стабільну температуру в шарі контакту та рівномірне розподілення по всьому реакційному об'єму [5]. Реакцію в реакторі проводять прямим окисленням з використанням каталізатора, що супроводжується екзотермічною реакцією з виділенням тепла, тому важливо забезпечити стабільну температуру контакту[5].

Витрата холодоагенту контролюється датчиками витрати 4а, 5а, 6а. холодоагент потрапляє у змійовики через розділювач потоку 12. На показання датчиків 7а, 8а, 9а в шарі контакту впливає також і витрата аміачно-повітряної суміші, що подаються в область змішування 5, 9 вихідного потоку після шару контакту. Аміачно-повітряна суміш в реактор подається через розділювачі потоку 1 та 2 і далі трубопроводи 1-2, 1-3, 1-4, 1-5 після розділення.

Кількість суміші контролюється датчиками витрати, що дозволяє налаштувати різні значення витрат для заданих режимів. В даній статті розглядається робочий режим роботи реактора. Вихідна концентрація азоту, що відображається датчиком 7а залежить від налаштування витрат в потоках що контролюються датчиками 1а, 2а, 3а, 4а, 5а, 6а.

Завдання системи керування забезпечити максимальний вихід азоту з реактора при мінімальних витратах в потоках 1-2, 1-4, 1-5, 2-2, 2-3, 2-4. Технологічним завданням даного процесу являється досягнення

максимальної глибини перетворення аміачно-повітряної суміші при заданій витраті потоку навантаження та бойпасу [6].

При розробці системи автоматичного керування необхідно досконально вивчити кінетику процесу, тому доцільно використати математичну модель динаміки для подальшого дослідження залежності вихідної концентрації від параметри потоку навантаження (температури, концентрації, витрати). Для цього розглянемо математичну модель динаміки роботи реактора для першої секції шару каталізатору в реакційному об'ємі.

Структурна схема взаємодії вихідних параметрів з вхідними представлена на рис. 2

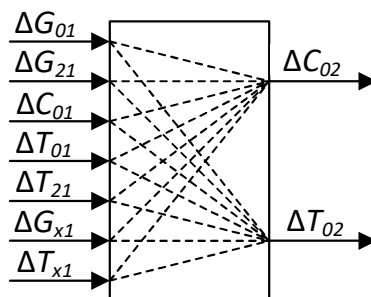


Рис. 2 – Структурно параметрична схема секції 1 реактора окислення аміаку

Процес окислення в шарі контакту характеризується вихідною температурою T_2 з шару контакту, також вихідною кінцевою концентрацією основного компонента C_{02} в реакційному об'ємі. Вхідними величинами є: G_{01} , C_{01} - об'ємна витрата аміак-повітряної суміші, яка подається по основному потоці 1-2 і початкова концентрація основного компонента аміак-повітряної суміші, що визначає швидкість реакції; T_{01} - початкова температура компонентів вхідного потоку в аміачно-повітряній суміші; T_{21} - початкова температура компонентів аміачно-повітряної суміші, що подається по бойпасному потоку і холодоагенту; T_{x1} - початкові температури компонентів і холодоагенту; G_{21} - об'ємний розхід аміак-повітряної суміші, яка подається по бойпасу потік 1-4; G_x - об'ємний розхід холодоагенту, який подається по основному потоку охолодження каталізатора 2-4.

Враховуючи особливість процесу окислення і порядок реакції $n=2$ [6] константа швидкості реакції характеризується залежністю швидкості від температури вхідного потоку T_{21} , T_{01} , тоді для знаходження вихідної концентрації азоту можна записати кінетичне рівняння [4] реакторного простору для знаходження вихідної концентрації азоту:

$$V \frac{dC_{02}}{dt} + V k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right) C_{02}^2 + G_{02} C_{02} = G_{01} C_{01} + G_{21} C_{21} \quad (1.1)$$

Де, V - реакційний об'єм реактора в шарі контакту; k_0 - константа швидкості реакції окислення аміаку повітрям на каталізаторі; E - енергія активації реакції окислення; R - газова стала; В реакторі окислення проходить екзотермічна реакція з виділенням тепла в момент контакту аміачно-повітряної суміші, тому доцільно враховувати тепловий ефект реакції.

Одним із важливих факторів при побудові системи автоматичного керування є врахування в математичній моделі процесу переносу тепла конвекцією і теплопровідністю від змійовика до шару контакту, таким шляхом отримаємо параметр керування G_x , який буде впливати на температуру T_2 - температуру в шарі каталізатору, що за технологічним регламентом не повинна перевищувати 1173 К. Для врахування залежності температури каталізатора від витрати холодоагенту розглянемо [4] рівняння 1.2

$$m_k c_k \frac{dT_k}{dt} = c_x G_x (T_{x1} - T_{x2}) - c_1 F_1 (T_{20} - T_{cm}) \quad (1.2)$$

Рівняння 1.2 описує залежність вихідної температури від витрати холодоагенту, а також температурою слою контакту. Де, c_x - теплоємність каталізатора в реакторному просторі; T_{x1} - температура в охолоджуючому змійовикові на вході в каталізатор; T_{x2} - температура в змійовикові на виході з каталізаторного простору реактора; c_1 - теплоємність аміачно-повітряної суміші в реакторному просторі; F_1 - ефективна площа контакту потоку з шаром каталізатора; c_k - теплоємність каталізатора в реакторному просторі; m_k -

маса каталізатора в реакційному об'ємі. В реакторі окислення важливо врахувати температуру шару каталізатора в процесі окислення, для цього використаємо [4] рівняння 1.3

$$\rho_{02}c_{02}V\frac{dT_{02}}{dt} + \rho_{02}c_{02}G_{02}T_{02} = \rho_{01}c_{01}G_{01}T_{01} + \rho_{21}c_{21}G_{21}T_{21} \quad (1.3)$$

За допомогою рівняння 1.3 можливо змоделювати та дослідити теплові процеси, які відбуваються в реакційному об'ємі реактора вихідна величина зміна температури ΔT_{02} відносно номінальної температури значення T_{02} .

В реакторі окислення швидкість реакції має гомогенний прояв (протікає в одній фазі) реакції визначається кількістю речовини, що реагує в одиниці об'єму в одиницю часу, а також протікає на кордоні розділу фаз. В процесі взаємодії реагентів, процес окислення складається з кількох послідовних стадій, причому деякі є чисто фізичними. Швидкість такого процесу лімітується швидкістю найбільш повільної стадії. В реакторі гетерогенна реакція на каталізаторі проходить наступні стадії: дифузія реагентів до поверхні каталізатора; адсорбція реагентів на поверхні каталізатора; хімічну взаємодію реагентів; десорбція продуктів реакції з поверхні; дифузія продуктів реакції в глиб реакційного об'єму. На даних стадіях відбувається екзотермічна реакція з виділення тепла, тому швидкість реакції визначається концентраціями як вихідних, так і проміжних речовин, що утворюються на окремих стадіях. Залежності скорості реакції від температури в математичній моделі описуємо законом Ареніуса [4] у вигляді:

$$k(T) = K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (1.4)$$

де K_0 - експоненціальний множник (визначається особливостями реакції окислення); E - енергія активації; R - газова стала. Тепловий ефект хімічного перетворення аміачно-повітряної суміші визначається кількістю прореагованої речовини і питомим тепловим ефектом реакції. Для реактора окислення в шарі контакту енергія, яка виділяється в результаті реакції, швидкість тепловиділення або теплопоглинання визначається через рівняння [4]:

$$Q_p = q_0 k(T_{01}) C_{01}^n C_{21}^n, \quad (1.5)$$

Де Q_p – кількість енергії, яка утворюється в результаті реакції окислення аміачно-повітряної суміші в реакторному просторі реактора; q_0 – тепловий ефект реакції окислення; n – порядок реакції; k – константа швидкості реакції. Підставивши 1.4 в 1.5 для реакторного об'єму реактора рівняння матиме [4] вигляд :

$$Q_p = q_0 V K_0 \exp\left(-\frac{E}{T_{01}}\right) C_{01}^n C_{21}^n \quad (1.6)$$

Взаємозв'язок в математичній моделі між рівняннями теплового балансу, теплового обміну між змійовиком і каталізатором і рівняння теплового ефекту реакції окислення аміачно-повітряної суміші виразимо через рівняння теплообміну в реакторному просторі [4]

$$Q_{06} = q_0 V K_0 \exp\left(-\frac{E}{T_{01}}\right) C_{01}^n C_{21}^n - c_1 F_1 (T_{20} - T_{cm}) \quad (1.7)$$

Таким чином, на основі вище описаних рівнянь 1.1, 1.2, 1.3, 1.6, 1.7 можливо записати математичну модель динаміки реакторного простору реактора з урахуванням теплового ефекту реакції окислення.

$$\begin{aligned} V\frac{dC_{02}}{dt} + V k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_2}\right) C_{02}^2 + G_{02} C_{02} &= G_{01} C_{01} + G_{21} C_{21} \\ m_k c_k \frac{dT_k}{dt} &= c_x G_x (T_{x1} - T_{x2}) - c_1 F_1 (T_{20} - T_{cm}) \\ \rho_{02} c_{02} V \frac{dT_{02}}{dt} + \rho_{02} c_{02} G_{02} T_{02} &= \rho_{01} c_{01} G_{01} T_{01} + \rho_{21} c_{21} G_{21} T_{21} \\ Q_p &= q_0 V K_0 \exp\left(-\frac{E}{T_{01}}\right) C_{01}^n C_{21}^n \\ Q_{06} &= q_0 V K_0 \exp\left(-\frac{E}{T_{01}}\right) C_{01}^n C_{21}^n - c_1 F_1 (T_{20} - T_{cm}) \end{aligned} \quad (1.8)$$

Система рівнянь 1.8 формує математичну модель реактора окислення з початковими умовами $\Delta T_{02}(0, t) = 0$; $\Delta T_{cm}(0, t) = 0$; $\Delta Q_{x1}(0) = Q_{x1}$; $\Delta Q_{x2}(0) = Q_{x2}$; $\Delta C_{02}(0, t) = 0$; $\Delta G_{01}(0) = G_{01}$; $\Delta G_{21}(0) = G_{21}$;

За допомогою математичної моделі динаміки 1.8 можливо дослідити максимальний вихід азоту при заданих витратах аміачно-повітряної суміші та холодоагенту. Розрахувавши математичну модель за

допомогою програмного комплексу MatLab, були отримані графіки залежності вихідної концентрації із слою контакту від витрати холодоагенту в змійовику охолодження каталізатора.

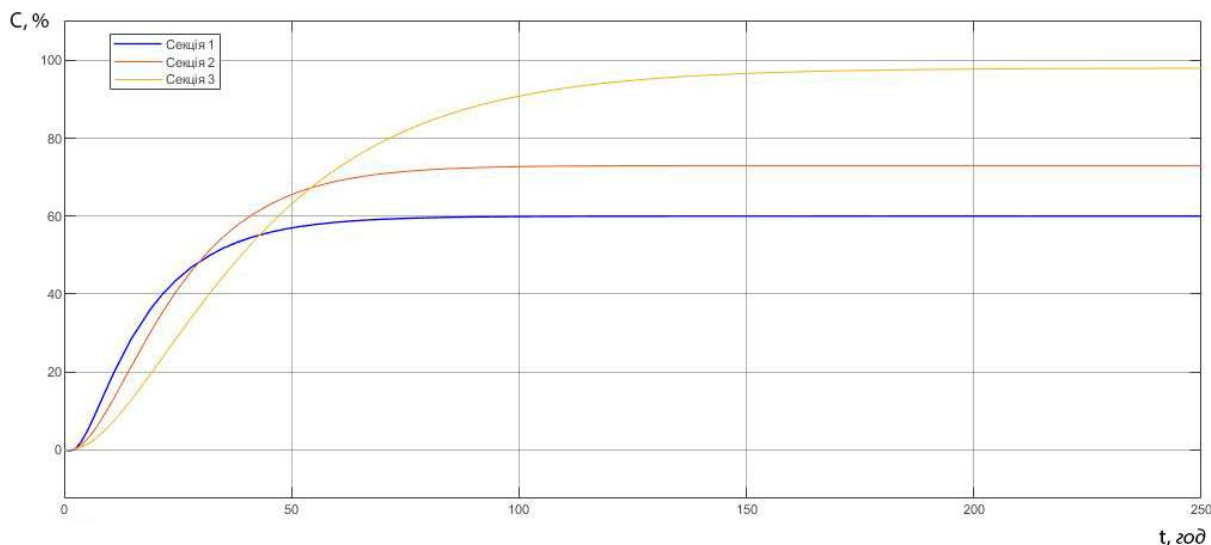


Рис. 3 – Крива розгону реактора окислення АПС для різних секцій реактора при заданих технологічних параметрах

На рис. 3 зображена крива розгону для різних секцій реактор. Дана крива розгону відображає роботу реактора окислення при заданих технологічних умовах. Температура в шарі контакту $T_{02} = 1173$ К. витрати холодоагенту секція 1- $G_{x1} = 18$ т/год; секція 2- $G_{x2} = 10$ т/год; секція 3- $G_{x3} = 8$ т/год. Витрати АПС потік навантаження секція 1 – $G_{01} = 3383$ м³ / год; витрати АПС бойпас секція 2 – $G_{21} = 2185$ м³ / год; витрати АПС бойпас секція 3 – $G_{13} = 1246$ м³ / год; В різних секція реактора вихідна концентрація різна, це пояснюється, що при заданих витратах максимальна концентрація вихідного продукту можлива на останній секції реактора.

В результаті дослідження реактора окислення за допомогою спрощеної моделі динаміки, було отримано криву розгону, яка відображає роботу реактора окислення з максимальним[4] виходом окисі азоту на останньому шарі каталізатора в секції 3.

Висновки. У статті було розроблено та побудовано структурно параметричну схему секції реактора окислення аміаку, використано спрощену модель динаміки, за допомогою якої, досліджено значення вихідної концентрації азоту. Запропонована спрощена математична модель динаміки процесу окислення і отримано систему диференціальних рівнянь з початковими умовами. Проведений розрахунок моделі за допомогою програмного комплексу MatLab та отримана крива розгону реактора окислення в вигляді графіку з заданими умовами проведення процесу в реакторі.

Перспективи подальших досліджень. Перспективними напрямками наукової роботи є дослідження математичної моделі динаміки реакційного простору для подальшого синтезу системи керування та внесення змін в математичну модель з урахуванням економічної складової та дослідження на значення доцільності використання реактора в максимальній продуктивності. Подальші результати дослідження будуть використані для побудови системи керування процесом.

Список використаної літератури

1. Атрощенко, В. И. Технология связанного азота / В. И. Атрощенко. – Киев: Вища школа, 1985.
2. Производство аммиака / под ред. В. П. Семенова. М.: Химия, 1985.
3. Атрощенко, В. И. Технология азотной кислоты / В. И. Атрощенко, С. И. Каргин. Л.: Химия, 1980.
4. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / под ред. В. М. Олевского. М.: Химия, 1985.

5. Производство аммиачной селитры в агрегатах большой единичной мощности / под ред. В. М. Олевского. М.: Химия, 1990.
6. Кучерявый, В. И. Синтез и применение карбамида / В. И. Кучерявый, В. В. Лебедев. М.: Химия, 1970.
7. Горловский, Д. М. Технология карбамида / Д. М. Горловский, Л. Н. Альшулер, В. И. Кучерявый. Л.: Химия, 1981.
8. Атрощенко, В. И. Методы расчетов по технологии связанного азота / В. И. Атрощенко. Киев: Выш. школа, 1978.
9. Аммиак. Вопросы технологии / И. М. Демиденко [и др.]. – Донецк: ГИК «Новая печать»: ООО «Лебедь», 2001.
10. Химическая технология неорганических веществ: учеб. пособие: в 2 т. / под ред. Т. Г. Ахметова. М.: Высш. школа, 2002. Т. 1, 2.
11. Справочник азотчика: в 2 т. / под ред. Е. Я. Мельникова. М.: Химия, 1987. Т. 1, 2.

Надійшла до редакції 01.10.2020

Zhuchenko A. I., Onishchenko V. O., Tsapar V.S.

INVESTIGATION OF AMMONIA OXIDATION REACTOR IN THE MODE OF MAXIMUM NITROGEN PRODUCTIVITY

The production of nitric acid is quite complex and complicated by different stages of production, the main stages are the preparation of ammonia-air mixture to ensure and carry out the oxidation process at the stage of obtaining nitric oxide with subsequent use at the stage of absorption to obtain the final product of nitric acid. In the production of nitric acid, special attention is paid to the oxidation stage, at this stage the main product is formed, which provides nitric acid during the reaction of nitrogen with water at the stage of adsorption. The oxidation stage is the main cost part in the formation of the price function of the cost of the product, so the task of improving the productivity of equipment at this stage, one of the important tasks in building a control system and operation of the ammonia oxidation reactor.

The article considers the use of a simplified mathematical [1] model of reactor space dynamics. Based on this model, studies were conducted and the acceleration curve of the APS oxidation reactor was constructed. One of the important features of the oxidation reactor is its complex multi-section structure [2]. The oxidation takes place on three series-mounted layers in the reactor. This design allows you to increase the flow rate of the load and increase the yield of nitrogen from the reactor. Therefore, the mathematical model provides a simplified system of equations with a sequential calculation of each layer in the dynamics of the reactor and the technological parameters of the process at a given time.

The oxidation reactor is considered in the article as an object of automatic control and is described by a mathematical model of dynamics in the form of differential equations. The reaction volume dynamics model reflects the dependence of the temperature in the contact layer on the load flow, as well as the dependence of the concentration of nitric oxide on the flow rate and temperature of the reaction mixture at the time of contact with the catalyst.

This mathematical model, adequate to the actual course of the oxidation process, will investigate the dependence of the yield of nitric oxide on the specified input values of the flow rate in each section of the reactor. Increasing the yield of nitric oxide will increase the productivity of the reactor, by meeting the quality requirements of the starting product [3] and reducing the economic costs of nitric acid production.

The proposed mathematical model allows us to consider a reactor with three layers of contact in the mode of maximum load, which allows to obtain the maximum degree of conversion of ammonia-air mixture. The obtained results of the research allow to form the requirements for the automatic control system and to reflect the reaction of the object to the change of the controlled parameters.

Keywords: ammonia oxidation, catalyst, kinetic model, catalyst, oxidation, ammonia, loss, platinoids, reaction mechanism, nitric acid reproduction, non-stationary, modeling, synthesis, conversion rate, catalyst aging, reducing properties, control system, process modeling, multi - layer reactor, catalyst regeneration.

References

1. Atroschenko V. I. (1985), Technology of bound nitrogen, Kiev: Vyshcha SHKOLA.
2. Production of ammonia, (1985) ed. by V. P. Semenov, Moscow: Chemistry.

3. Atroschenko V. I., Kargin S. I. (1980), Technology of nitric acid / L.: Chemistry.
 4. *Production of nitric acid in aggregates of large unit capacity* (1985) / ed. by V. M. Olevsky. M.: Chemistry.
 5. *Production of ammonium nitrate in aggregates of large unit capacity* (1990) / ed. by V. M. Olevsky, M.: Chemistry.
 6. Kucheryavy V. I., Lebedev V. V. (1970) Synthesis and application of urea / M.: Chemistry.
 7. Gorlovsky D. M., Altshuler L. N., Kucheryavy V. I. (1981), Technology of urea / L.: Chemistry.
 8. Atroschenko V. I. (1978), Methods of calculations based on the technology of bound nitrogen / Kiev: Vysh. SHKOLA.
 9. Demidenko I. M. (2001), Ammonia. Questions of technology / Donetsk: GIK "New seal": LLC "Swan".
 10. Chemical technology of inorganic substances: textbook. manual: in 2 vols. / ed. by T. G. Akhmetov (2002), M.: Higher school, Vol. 1, 2.
 11. Azotchik's Handbook: in 2 vols. (1987) / ed. by E. Ya. Melnikov, M.: Chemistry, Vol. 1.
-

УДК 004.415.2

**КОВАЛЮК Д. О. к.т.н., доц., КАРМАЗІН І.М, магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
КОВАЛЮК О. О. к.т.н., доц.
Вінницький національний технічний університет**

ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-СЕРВІСІВ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

В статті розглянуто проблеми функціонування сучасних систем керування технологічними процесами, зокрема інтеграції різних компонентів таких систем та обміну даними між ними. Проаналізовано використання веб-сервісів в системах керування, контролю доступу, SCADA-системах та в «розумних будинках». Обґрунтовано основні переваги використання веб-сервісів на виробництві та функції, які вони можуть виконувати. Проведено аналіз засобів (платформ) для розробки програмного забезпечення, що реалізує технологію веб-сервісів. Спроектовано архітектуру веб-сервісу для моніторингу температурного режиму печі, розроблено спеціальне програмне забезпечення на базі ASP.NET Core 3, проведено тестування роботи веб-сервісу на прикладі вимірювання температури в кімнаті з використанням апаратно-обчислювальної платформи Arduino.

Ключові слова: автоматизація, системи, керування, веб-сервіси, виробництво, ASP.NET Core.

DOI: 10.20535/2617-9741.4.2020.219783

© Ковалюк Д. О., Кармазін І. М., Ковалюк О.О., 2020.

Постановка проблеми. Для оптимального керування технологічними об'єктами та процесами як правило проектуються системи керування, які мають достатньо складну структуру і зв'язки між своїми частинами. З однієї сторони, це дозволяє виконувати функції автоматичного контролю та регулювання, технологічної та аварійної сигналізації, реєстрації стану процесу, візуального відображення для оператора. З іншої сторони, це приводить до суттєвого ускладнення систем, що пов'язане з підвищенням інтенсивності процесів, швидкостей, вимог до точності та якості. Якщо говорити про структуру сучасних систем керування, то всі вони є багаторівневими, як показано на рисунку 1. Зазначені рівні покриваються однією або кількома системами.