

В.А. Попов, О.С. Ярмолюк, П.О. Замковий, І.А. Дмитренко

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
ДВОХЕТАПНИЙ АЛГОРИТМ ВИБОРУ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ МІКРОСИСТЕМ З
УРАХУВАННЯМ ФАКТОРУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

У роботі обґрунтовується доцільність формування мікросистем, як одного з важливих етапів модернізації енергетичної галузі України. Однак для успішної реалізації зазначених проектів необхідно забезпечити ретельну аргументацію визначення як структури первинних джерел енергії, так і співвідношення номінальних потужностей всіх типів генеруючого обладнання, що входить до складу мікросистеми. Рішення відносно зазначених питань приймається на основі аналізу можливих альтернативних варіантів побудови мікросистеми з урахуванням декількох груп факторів економічного, технічного, соціального й іншого характерів. Для даної мети було розроблено двоетапний алгоритм, що дозволяє врахувати невизначеність вихідної інформації, а також багатокритеріальний характер задачі. На першому етапі порівняння попередньо сформованих варіантів побудови мікросистеми здійснюється на основі математичного апарату теорії ігор і пов'язується з побудовою платіжних матриць по кожній з прийнятих до розгляду цільових функцій. Для урахування багатокритеріального характеру задачі використовується підхід Беллмана-Заде, що дає можливість сформулювати узагальнену багатовимірну платіжну матрицю. Подальший її аналіз може здійснюватися на підставі будь-якого з критеріїв теорії ігор. Передбачається, що на даному етапі буде визначено обмежена кількість альтернатив найбільш раціональних з позицій окремих критеріїв. На другому етапі вибір оптимального рішення здійснюється шляхом використання процедур інвестиційного менеджменту. При цьому, з одного боку, враховуються фактичні вартісні і технічні характеристики обладнання, яке планується використовувати, а, з іншого боку, приймається в облік невизначеність інформації про умови реалізації інвестиційного проекту, шляхом завдання ряду факторів (наприклад, ставка дисконтування, потоків платежів) у інтервальної формі, використовуючи при відповідних розрахунках узагальнену інтервальну арифметику Хансена.

Ключові слова: мікросистема, теорія ігор, багатокритеріальне прийняття рішень, підхід Беллмана-Заде, інтервальна арифметика Хансена.

Надійшла 06.05.2014

Received 06.05.2014

Г. Г. Стрелкова, канд. фіз.-мат. наук, доцент; К. В. Рабчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ
СИНТЕЗУ АМІАКУ НА ОСНОВІ РОЗРОБКИ ДИНАМІЧНОЇ
МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ**

Аміак є одною з неорганічних хімічних речовин з найвищою часткою виробництва в світі. Процес синтезу аміаку є енергозатратним та потребує детального аналізу. Такий аналіз є можливим та безпечним за допомогою моделювання процесу. Дана стаття розглядає моделювання реактору синтезу аміаку та виконання експерименту над моделлю. Модель є динамічною, що дозволяє краще зрозуміти процес синтезу при раптовій зміні параметрів процесу.

Ключові слова: аміак, реактор, процес синтезу, моделювання, динамічна модель, MATLAB.

Вступ.

Аміак є одною з неорганічних хімічних речовин з найвищою часткою виробництва в світі. 131 мільйонів тон аміаку були вироблені в 2010 році, згідно зі статистикою [1], зокрема, 3,4 мільйони тон – в Україні, 1,8 мільйони тон – в Польщі, 1,1 мільйони тон – в Румунії, 2,7 мільйони тон – в Німеччині. За 2011 рік в Україні було вироблено 4,8 мільйони тон аміаку [2]. Актуальність виробництва аміаку пояснюється тим, що близько 80 % виробленого аміаку використовується для отримання добрив у

сільському господарстві. Водний розчин аміаку використовується у фармацевтиці. Також аміак застосовується як холодоагент в холодильних установках та для виробництва вибухових речовин. Аміак синтезується з водню та азоту при високій температурі і тиску в каталітичному процесі, де зазвичай, умови синтезу – тиск близько 200 бар, температура в діапазоні 370-500 °С. Дана реакція є екзотермічною, тому тепло відводиться за допомогою теплообмінників. Ефективність процесу пов'язана з умовами перебігу процесу синтезу аміаку, зокрема з умовами стійкості процесу. Раніше вважалося, що всі хімічні реакції монотонно прагнуть до рівноваги [3], але на практиці виявлено, що деякі хімічні реакції можуть набувати коливального характеру. Сюди відноситься і процес синтезу аміаку. Оскільки велика частина досліджень за даною темою орієнтована на аналіз процесів в усталеному режимі, є необхідність розробки динамічної моделі. Дана робота розглядає динамічне моделювання процесу синтезу, що є досить новим напрямом дослідження саме для процесу виробництва аміаку.

Завдання та мета дослідження.

Дана робота виконана протягом навчання за магістерською програмою «Техніка та системи автоматичного управління» в рамках співпраці між Національним технічним університетом України «Київським політехнічним інститутом» та Університетським коледжем «Телемарк» (Норвегія) на замовлення компанії Yara International ASA (Норвегія). Метою даної роботи є розробка спрощеної динамічної моделі процесу синтезу аміаку для дослідження динамічних процесів, які впливають на енергоефективність роботи реактору синтезу аміаку. До завдань роботи можна віднести розробку динамічної моделі процесу синтезу аміаку за припущення ідеального перемішування всередині реактору та моделювання процесів синтезу аміаку у програмному середовищі MATLAB.

Результати дослідження.

Моделювання синтезу аміаку в реакторі було розпочато з наступних припущень: 1. Зміною потенційної енергії і кінетичної енергії можна знехтувати, так як вони малі в порівнянні зі змінами внутрішньої енергії. 2. Компонентами газової суміші в реакторі вважаємо аміак, водень, азот та аргон. 3. Суміш газів в реакторі вважаємо ідеальним газом, що також має на увазі ідеальне перемішування компонентів газу. 4. Об'єм і тиск у реакторі є постійними. 5. Осьовий потік. 6. Температура газу дорівнює температурі каталізатора. 7. Швидкість газу в поперечному перерізі реактору є постійною. 8. Немає зміни температури, тиску та складу газової суміші в поперечному перерізі реактору.

Результатом дослідження є спрощена динамічна модель реактору синтезу аміаку відповідно до виразу (1).

$$\frac{dn}{dt} = \dot{n}^i - \dot{n}^o + \dot{n}^g, \quad (1)$$

де $n = [n_{NH_3} \quad n_{H_2} \quad n_{N_2} \quad n_{Ar}]$ – вектор змінних стану системи, тобто кількість моль аміаку, водню, азоту і аргону відповідно, кмоль; $\dot{n}^i = [\dot{n}_{NH_3}^i \quad \dot{n}_{H_2}^i \quad \dot{n}_{N_2}^i \quad \dot{n}_{Ar}^i]$ – вектор вхідних молярних потоків аміаку, водню, азоту і аргону відповідно, кмоль/с. Значення вхідних молярних потоків занесено до табл. 1. $\dot{n}^o = [\dot{n}_{NH_3}^o \quad \dot{n}_{H_2}^o \quad \dot{n}_{N_2}^o \quad \dot{n}_{Ar}^o]$ – вектор вихідних молярних потоків аміаку, водню, азоту і аргону відповідно, кмоль/с. Значення вихідних молярних потоків розраховуємо за формулою (2). $\dot{n}^g = [\dot{n}_{NH_3}^g \quad \dot{n}_{H_2}^g \quad \dot{n}_{N_2}^g \quad \dot{n}_{Ar}^g]$ – вектор генерованих в процесі реакції молярних потоків аміаку, водню, азоту і аргону відповідно, кмоль/с. Значення генерованих молярних потоків розраховуємо за формулою (4).

$$\dot{n}^o = \frac{n}{\sum_j n_j} \left[\frac{\bar{c}_{p\,gas} \cdot \left(\sum_j \dot{n}_j^i \right) \cdot (T_i - T) + (-2\Delta\tilde{H}_r) \cdot r \cdot V}{T \cdot \left(\bar{c}_{p\,gas} \cdot \left(\sum_j \dot{n}_j^i \right) + C_{p\,cat} \right)} \cdot \left(\sum_j n_j \right) + \left(\sum_j \dot{n}_j^i + \dot{n}_j^g \right) \right], \quad (2)$$

де $\bar{c}_{p\,gas}$, $C_{p\,cat}$, $-\Delta\tilde{H}_r$ та V – відомі параметри моделі, занесені до табл. 2; j – номер компоненти газової суміші: 1 – аміак, 2 – водень, 3 – азот, 4 – аргон; T_i – вхідна температура газової суміші, занесена до табл. 1; T – температура газової суміші всередині реактору. Розраховується, виходячи з закону ідеального газу (3); r – швидкість реакції синтезу аміаку, кмоль/(м³ · с).

Початкові умови та робочі умови для моделі

Умови	Значення	Одиниця вимірювання	Опис
$n_{NH_3}(t=0)$	1.37	кмоль	Початкова кількість молів аміаку
$n_{H_2}(t=0)$	44.89	кмоль	Початкова кількість молів водню
$n_{N_2}(t=0)$	15.46	кмоль	Початкова кількість молів азоту
$n_{Ar}(t=0)$	2.68	кмоль	Початкова кількість молів аргону
$\dot{n}_{NH_3}^i(t)$	0.08	кмоль /с	Вхідний молярний потік аміаку
$\dot{n}_{H_2}^i(t)$	2.59	кмоль /с	Вхідний молярний потік водню
$\dot{n}_{N_2}^i(t)$	0.89	кмоль /с	Вхідний молярний потік азоту
$\dot{n}_{Ar}^i(t)$	0.15	кмоль /с	Вхідний молярний потік аргону
$p(t)$	$1.7 \cdot 10^7$	Па	Тиск в реакторі
$T_i(t)$	635	К	Вхідна температура газової суміші

Вираз для швидкості реакції синтезу аміаку використано за даними компанії Yara International ASA і є конфіденційною інформацією компанії. Для відтворення моделі можна використати будь-який відомий вираз швидкості реакції синтезу аміаку, наприклад як в [4].

$$T = \frac{p \cdot V}{\sum_j n_j \cdot R}, \quad (3)$$

де p – тиск газової суміші всередині реактору. Значення тиску занесено до табл. 1; R – універсальна газова стала, відомий параметр моделі, занесений до табл. 2.

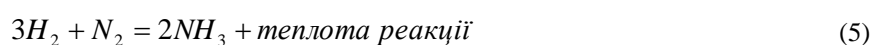
$$\dot{n}^g = s \cdot r \cdot V, \quad (4)$$

де $s = [2 \quad -3 \quad -1 \quad 0]$ є стехіометричним вектором реакції (5). Елемент стехіометричного вектору зі значенням 2 відповідає синтезованому молю аміаку в результаті реакції. Значення -3 та -1 відповідають поглинутим в результаті реакції молям водню і азоту відповідно. Значення 0 відповідає інертному газу аргону, який міститься у суміші газів, але не бере участі в реакції синтезу аміаку.

Таблиця 2

Відомі параметри моделі

Параметр	Значення	Одиниця вимірювання	Опис
$C_{p cat}$	72600000	Дж/К	Повна теплоємність каталізатора
$\tilde{c}_{p gas}$	35540	Дж/(кмоль·К)	Середня молярна теплоємність газової суміші
$-\Delta\tilde{H}_r$	91965240	Дж/кмоль	Теплота реакції ($t = 400..450$ °С)
V	20	м ³	Об'єм реактору
R	8314.2	Дж/(кмоль·К)	Універсальна газова стала



Моделювання процесу синтезу аміаку виконано в програмному середовищі MATLAB. Результати моделювання представлено на рис. 2 та рис. 3.

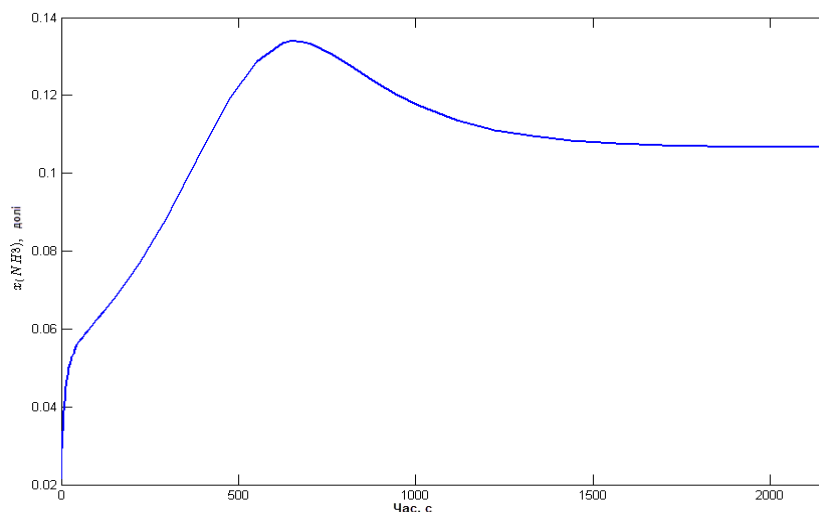


Рис. 2. Частка синтезованого аміаку в реакторі

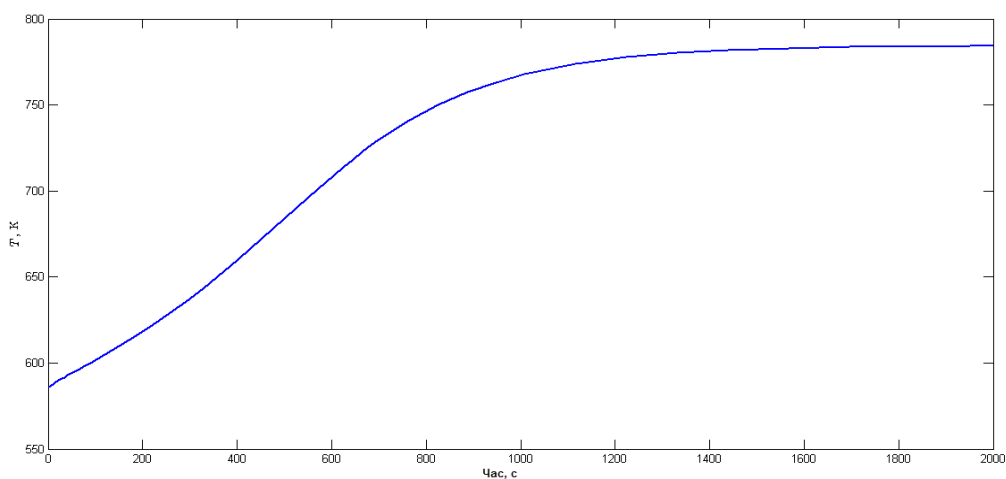


Рис. 3. Температура газової суміші в реакторі

На рис. 2 показано частку синтезованого аміаку з перебігом хімічної реакції, а на рис. 3 показано температуру перебігу реакції. Порівнюючи рис. 2 та рис. 3, можна сказати, що в інтервалі 500..1000 секунд частка аміаку досягає максимуму, після чого починає спадати і в усталеному режимі досягає 11 %, в той час як температура в цьому інтервалі не має екстремуму і продовжує зростати до значення близько 775 К. Цей динамічний ефект є в подальшому причиною можливих коливань температури всередині реактору.

Результати моделювання процесу синтезу аміаку були перевірені компанією Yara International ASA та визнано задовільними.

Висновок.

За результатами дослідження розроблено спрощену динамічну модель процесу синтезу аміаку за припущення ідеального перемішування всередині реактору для випадку відсутності автоматичного контролю. Моделювання процесу дозволило визначити часові межі виходу процесу синтезу аміаку в усталений режим та динаміку температурного режиму, що надає можливість підвищення рівня енергоефективності режиму роботи реактору.

Перелік літератури.

1. IndexMundi (February, 2014). Ammonia: Estimated World Production, By Country [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/nitrogen/nitrogen_t12.html.
2. Петешова Т. Діагностичні підходи до визначення рівня інтенсивності конкуренції на галузевому ринку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi_2011_4_2_111_117.pdf.
3. Morris W. Hirsch, Stephen Smale, Robert L. Devaney. Differential Equations, Dynamical Systems, And An Introduction to Chaos. 2nd ed. // San Diego, California: Elsevier (USA) - 2004. - P.230.
4. John Morud. Studies On The Dynamics And Operation Of Integrated Plants. A Thesis Submitted For A Degree Of Dr. Ing. // University of Trondheim. The Norwegian Institute of Technology - 1995.

G. Strelkova, K. Rabchuk

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

**INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY LEVEL OF THE AMMONIA SYNTHESIS
PROCESS BASED ON DEVELOPMENT OF A DYNAMIC MODEL**

Ammonia is one of the inorganic chemicals with the highest production rate in the world. The process of ammonia synthesis has a high energy consumption and requires detailed analysis. Such an analysis is feasible and safe using simulation of the process. This paper examines the simulation of the ammonia synthesis reactor and the experiment on the model. The objective of this paper is to develop the basis for a synthesis reactor monitoring tool that can be used to identify the margin to blow-out with respect to current load, catalyst activity, pressure and temperature. For this purpose system dynamics is studied by means of the dynamic modelling. The model is dynamic, and this allows better understanding of the synthesis process in case of the sudden change of the operating parameters.

Keywords: ammonia, reactor, synthesis process, modeling, dynamic model, MATLAB.

1. IndexMundi (February, 2014). Ammonia: Estimated World Production, By Country [Online]. – http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/nitrogen/nitrogen_t12.html.
2. Peteshova T. Diagnostic approach to determine the intensity of competition in the industry market [Online]. – http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2011_4_2_111_117.pdf
3. Morris W. Hirsch, Stephen Smale, Robert L. Devaney. Differential Equations, Dynamical Systems, And An Introduction to Chaos. 2nd ed. // San Diego, California: Elsevier (USA) - 2004. - p. 230.
4. John Morud. Studies On The Dynamics And Operation Of Integrated Plants. A Thesis Submitted For A Degree Of Dr. Ing. // University of Trondheim. The Norwegian Institute of Technology - 1995.

УДК 662.963

Г. Г. Стрелкова, канд. физ.-мат. наук, доцент; К. В. Рабчук

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА АММИАКА
НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА**

Аммиак является одним из неорганических химических веществ с высокой долей производства в мире. Процесс синтеза аммиака является энергозатратным и требует детального анализа. Такой анализ возможен и безопасен при помощи моделирования процесса. Данная статья рассматривает моделирование реактора синтеза аммиака и выполнения эксперимента над моделью. Модель является динамической, что позволяет лучше понять процесс синтеза при внезапном изменении параметров процесса.

Ключевые слова: аммиак, реактор, процесс синтеза, моделирование, динамическая модель, MATLAB.

Надійшла 25.05.2014

Received 25.05.2014

УДК 621.311.001.57(063)

О.О. Закладний, канд. техн. наук; О.М. Закладний, канд. техн. наук, доцент; Д.Ю. Могилат
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**МОДЕЛІ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ
ЗАМІЩЕННЯ І РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННИХ
ДВИГУНІВ**

У статті наведено моделі діагностування параметрів схеми заміщення і робочих параметрів асинхронних двигунів, а також результати дослідження впливу зниження якості напруги живлення (відхилення та несиметрія напруги, відхилення частоти) на енергетичні характеристики асинхронних двигунів нової промислової серії 5А.

Ключові слова: діагностування, асинхронний двигун, схема заміщення, якість напруги живлення.