



УДК 681.5

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ УСТАНОВКИ ПІДГОТОВКИ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ

Dynamic mathematical model of carbon dioxide preparation in carbamide production technological process

Барліт Ю.В.<sup>1</sup> (Barlit Y.V.)

<sup>1</sup>Одесский национальный политехнический университет, Одесса

<sup>1</sup>E-mail: [barlit93@mail.ru](mailto:barlit93@mail.ru)

Copyright © 2014 by author and the journal "Automation technological and business - processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ONAFТ  
Open Access

DOI: [10.15673/](https://doi.org/10.15673/)

## Анотація

В статті розроблена багатовимірна математична модель динаміки установки підготовки вуглекислого газу в технологічному процесі виробництва карбаміду. Показана актуальність та проведено обґрунтування необхідності розробки нової математичної моделі. Наведена технологічна схема установки та основні параметри апаратури. Розроблена багатовимірна модель має три параметри, що вимірюються та три керуючі впливи. Наведена параметрична схема математичної моделі та диференційні рівняння апаратів технологічної установки. Результати роботи можуть бути використані при розробці нових систем автоматичного керування технологічною установкою.

## Annotation

A multivariable dynamic mathematical model of carbon dioxide preparation plant in carbamide production technological process is developed in the article. The actuality and necessity of new model development is shown. The technological scheme of a plant and main equipment parameters are given. The developed mathematical model has three controlled parameters and three manipulated parameters. Mathematical model parameters scheme and differential equations of the plant equipment are given. The research results may be used for development of a new automatic control systems of the plant.

## Ключові слова

Карбамід, вуглекислий газ, математична модель, динаміка, багатовимірна

## Актуальність роботи

Карбамід є важливим продуктом, щорічне виробництво якого в світі складає приблизно 140 млн. тон і зростає. Використовується карбамід в основному як азотне добриво і синтезується з аміаку і вуглекислого газу. Хоча процес виробництва добре вивчений [1,2,3], актуальною є задача підвищення продуктивності виробництва та якості продукції. Розв'язання цієї задачі досягається за рахунок розробки більш досконалих моделей динаміки окремих установок процесу і на їх основі розробки більш якісних систем керування цими установками [4]. Для



## СТУДЕНТСЬКА НАУКА

моделювання взята установка підготовки вуглекислого газу, яка є одною з основних ланок технологічного процесу виробництва карбаміду і впливає на його якість і собівартість.

**Мета роботи**

Створення багатовимірної моделі динаміки установки підготовки вуглекислого газу в виробництві карбаміду на Одеському припортовому заводі, структурна схема якої наведена на рисунку 1.

**Опис технологічної установки**

Двоокис вуглецю поступає з тиском 0,0098 МПа і температурою не більше 45 °С на турбокомпресор, який складається з корпусів низького (НТ) і високого (ВТ) тиску. Корпуси НТ (I - II ступінь) виконані у вигляді радіального компресора з п'ятьма, а корпус ВД (III ступінь) з чотирма робочими колесами. Обидва корпуси турбокомпресора через індивідуальні редуктори сполучені з електроприводом.

Для виробництва карбаміду потрібен двоокис вуглецю з об'ємною часткою «пальних» (водню, метану, окислу вуглецю) не більше 0,02 %. Необхідний ступень очищення від «пальних» досягається їх випалюванням з двоокису вуглецю в реакторі R-1 на паладієвому катализаторі. Після стиснення на першому ступеню компресора K104, газ з температурою 45 – 155 °С і тиском 0.14 – 0.2 МПа поступає в реактор R1, проходить скрізь шар катализатора, де окислюються водень, метан, оксид вуглецю. В процесі випалювання газ нагрівається за рахунок тепла реакції окислення до температури 170 - 240 °С залежно від початкового змісту пальних.

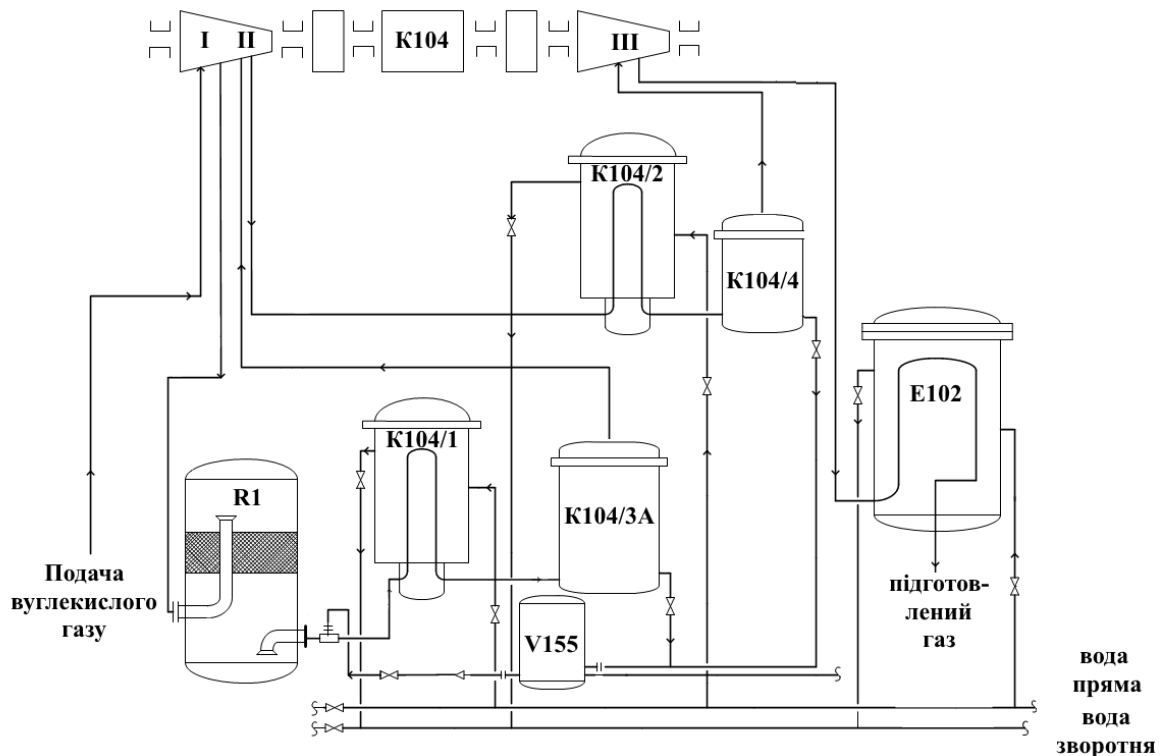


Рис. 1 – Схема установки підготовки вуглекислого газу

Очищений двоокис вуглецю охолоджується до температури 150 – 155 °С вприскуванням «кислого» конденсату скрізь спеціальні форсунки і прямує в проміжний холодильник K104/1, де охолоджується до 40-45°C і далі поступає в сепаратор K104/3A. З сепаратора газ поступає на другу ступінь стиснення. Максимальна температура на всмоктуванні другого ступеню дорівнює 60°C. Стислий до 0,6-0,75 МПа газ з температурою 170-185 °С поступає в холодильник другого ступеню K104/2, де охолоджується до 40-45°C, і далі йде в сепаратор K104/4.

З сепаратора K104/4 газ прямує на всмоктування третього ступеню. Стиснутий до 2,3–2,8 МПа газ з температурою 190-200 °С поступає в холодильник E102, де охолоджується до 45-50°C, а далі поступає на наступну установку. Волога, що виділилася в холодильниках відводиться в ємність V155, а звідти частково йде на форсунки після реактора R1, а частково відкачується.

Параметри апаратури наведені в таблиці 1.



## СТУДЕНТСЬКА НАУКА

Табл. 1 – Параметри апаратури установки підготовки газу

Апарат	Тип апарату	Параметри
R1	Реактор	Висота 5170 мм, діаметр 1600 мм, об'єм 12,9 м <sup>3</sup> , тиск 0,3 МПа, температура 155–300 °С, поверхня теплообміну 744 м <sup>2</sup> , об'єм каталізатору паладієвого ПК-3Ш 2,6 м <sup>3</sup> , маса каталізатору 1635 кг, насипна щільність 0,7т/м <sup>3</sup> .
K104	Турбокомпресор	Параметри на вході: температура 45 °С, тиск 0,0098 МПа; на виході: температура 190°С, тиск 2,805 МПа; частота обертів 6600/ 11330 об/хв; подача 19550±977.5м <sup>3</sup> /год; потужність 4800 кВт.
K104/1,2	Охолоджувач	Діаметр 1600 мм, висота 4710 мм, поверхня теплообміну 255м <sup>2</sup> , температура середі до 200 °С, тиск до 0,98 МПа, охолодження водою.
K104/3А, K104/4	Сепаратори	Температура до 100 °С, тиск до 1,0 МПа; діаметр 1000 мм, висота 3015 мм.
V155	Збірник конденсату	Тиск атмосферний, температура 30 °С, діаметр 1400 мм, висота 1675 мм, об'єм 2.5 м <sup>3</sup> .

**Вибір регульованих величин та керуючих впливів.** Для виробництва карбаміду потрібен двоокис вуглецю з об'ємною часткою «пальних» (водню, метану, окислу вуглецю) не більше 0,02 %, оскільки це може вплинути на якість карбаміду і при значному відхиленні об'ємної частки – спровокувати вибух з летальним випадком. Тому в якості регульованої величини  $y_1$  (%) оберемо концентрацію пальних в СО<sub>2</sub>. Можливість використання такої величини обумовлена наявністю сучасних давачів для контролю цього параметру.

На виході установки тиск повинен сягати не більш 2,6 МПа, що досягається на третій ступені турбокомпресора K104, тому регульованою величиною  $y_2$  (МПа) оберемо тиск після третього ступеня стиснення турбокомпресора.

Оскільки температура на виході установки повинна бути не більше за 50 °С, тому в якості регульованої величини  $y_3$  оберемо температуру після холодильника E102.

Керуючими впливами оберемо число обертів двигуна турбокомпресора K104  $u_1$  (об/с), витрату оборотної води на охолодження холодильника K104/2  $u_2$  (кг/с) і витрату газу на вході третій ступень турбокомпресора K104  $u_3$  (кг/с).

Параметрична схема установки наведена на рис.2.

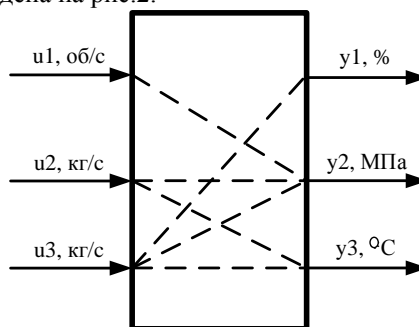


Рис. 2 – Параметрична схема математичної моделі установки підготовки вуглекислого газу

**Математична модель установки підготовки вуглекислого газу.** Розроблена аналітична багатовимірною математичною моделлю установки у просторі станів має вигляд

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A \cdot x + B \cdot u, \\ y &= C \cdot x \end{aligned}$$

де матриці  $A$ ,  $B$ ,  $C$  моделі мають вигляд



СТУДЕНТСЬКА НАУКА

$$A = \begin{pmatrix} -0.1111 & 0.1111 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1111 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1111 \\ 0 & 0 & -0.0044 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.1429 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0357 & -0.0361 & 0.0237 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4.386 \cdot 10^{-5} & 0 & 0.0237 & -0.0516 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1668 & 0.0917 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0212 & -0.0433 & 4.1602 \cdot 10^{-4} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0288 & -0.0566 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0625 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10^{-3} & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0013 & 0 & 0 & -0.625 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1667 & 0.0922 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0429 & -0.0433 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2754 & 0 & 0 & -0.062 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1111 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4.386 \cdot 10^{-5} \\ 0 & -0.002 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3098 \\ 0 & -0.002 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.0015 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.002 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0062 \\ 0 & 0 & 1.1111 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix} \cdot C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

а змінні  $x_i$  пов'язані зі станом наступних апаратів:  $x_1, x_2, x_{16}$  – реактор R1;  $x_3$  – теплообмінник змішення;  $x_4, x_5, x_6$  – теплообмінник K104/1 і сепаратор K 104/3A;  $x_7, x_8, x_9$  – теплообмінник K104/2 і сепаратор K104/4;  $x_{10}, x_{11}, x_{12}$  – турбокомпресор K104, третя ступінь стиснення;  $x_{13}, x_{14}, x_{15}$  – теплообмінник E102;  
Розгінні характеристики розробленої математичної моделі наведені на рис. 3.

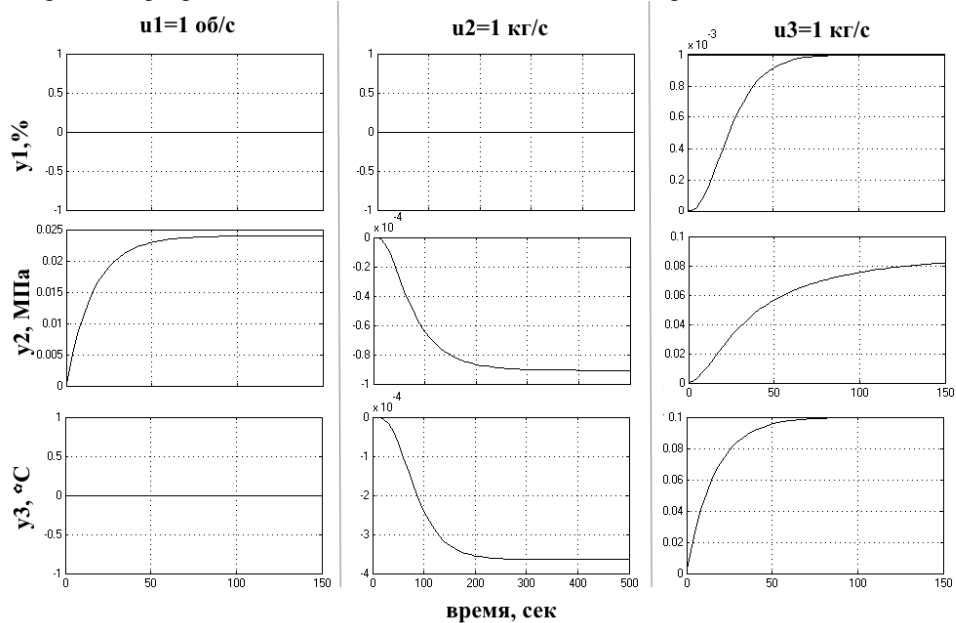


Рис. 3 – Криві розгону математичної моделі установки підготовки вуглекислого газу



## СТУДЕНТСКА НАУКА

**Висновки**

Розроблена багатовимірною математичною моделлю динаміки установки підготовки вуглекислого газу, яка є одною з основних ланок технологічного процесу виробництва карбаміду, що впливає на якість і собівартість карбаміду. Особливістю розробленої моделі є те, що замість температури після реактору R1 вимірюється концентрація палих в CO<sub>2</sub>. Тобто, регульованими величинами розробленої моделі є концентрація палих в газі, тиск після третьої ступені турбокомпресора K104 і температура після холодильника E102.

Результати роботи можуть бути використані для розробки сучасних систем автоматизованого керування технологічним процесом виробництва карбаміду, а також для дослідження динаміки апаратів установки підготовки вуглекислого газу.

**Література**

- [1] Nicolaou K.C., Montagnon T. Molecules that changed the world.–Wiley-VCH, 2008. – С.11;
- [2] Нейланд О. Я. Органическая химия. – М.: Высшая школа, 1990. – С.645-646;
- [3] Meessen J. H., Petersen H. Urea// Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – Weinheim: Wiley-VCH, 2002;
- [4] Краевский В.Н. Повышение эффективности работы компрессорного оборудования производства карбамида/ Краевский В.Н., Марцинковский В.С., Кухарев И.Е., Судак А.В. //XIII Международная научно-техническая конференция “ГЕРВИКОН-2011”, 6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина

**References**

- [1] Nicolaou K.C., Montagnon T. Molecules that changed the world.–Wiley-VCH, 2008. – S.11;
- [2] Nejland O. Ja. Organicheskaja himija. – M.: Vysshaja shkola, 1990. – S.645-646;
- [3] Meessen J. H., Petersen H. Urea// Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – Weinheim: Wiley-VCH, 2002.;
- [4] Kraevskij V.N. Povyshenie jeffektivnosti raboty kompressornogo oborudovaniya proizvodstva karbamida/ Kraevskij V.N., Marcinkovskij V.S., Kuharev I.E., Sudak A.V. //XIII Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija “GERVIKON-2011”, 6 - 9 sentjabrja 2011, SumGU, g. Sumy, Ukraina

Отримано в редакцію: 17.09.2015 р./ Прийнято до друку: 05.12.2015 р./ Received by edition: 17.09.2015. Approved for the press: 05.12.2015

**НОВОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ*****ABB Robotics: High Payload Robot***

The robot has a reach of 3.5 meters and can handle a payload of up to 800 kg (1000 kg with the wrist down; 630 kg with LeanID). Targeted for material handling applications in the automotive, transportation and other heavy industries, the robot automatically adapts and adjusts its speed to accommodate heavy and wide parts. It offers all the functionality and expertise of the company's portfolio in a much bigger package. The unit has only one motor and one gear per robot axis, and has no gas springs: only a counterweight and mechanical springs, which mean the unit has fewer components and is able to deliver shorter cycle times and higher accuracy. The robot is available in two configurations, one with a reach of 4.2 meters and a payload of 550 kg (620 kg with the wrist down; 475 kg with LeanID), and the other with a reach of 3.5 meters and a payload of 800 kg (1000 kg with the wrist down; 630 kg with LeanID). Both configurations are available with LeanID, a cost-effective Integrated Dressing (ID) designed for easier programming, reduced wear and a smaller footprint. Both configurations also have a high moment of inertia at 725 kg-m squared.

<http://www.automationworld.com>

