

## CREATING CONTROL SYSTEM MODELS FOR DISTILLATION COLUMN

N. Lutska, N. Hrytsenko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Model adequacy  
Distillation column  
Identification  
Mathematical model  
Control subsystem*

**Article history:**

Received 08.09.2016  
Received in revised form  
24.09.2016  
Accepted 15.10.2016

**Corresponding author:**

N. Lutska  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The distillation column was considered as a complex, non-stationary, energy-intensive and multiply object. The topical issue of creating a control system based on modern scientific approaches and automated control system structure has been shown. The developed models of distillation column control subsystem of steam and distiller flow rate loop — column bottom pressure have linear structure that reflects static and dynamic processes of distillation. The evaluation of model parameters was performed according to accepted criteria of quality characterizing the model adequacy of the object by comparing the values of the model and the real system.

## РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БРАЖНОЇ КОЛОНИ

Н.М. Луцька, Н.Г. Гриценко

Національний університет харчових технологій

*У статті розглянуто бражну колону (БК), яка є складним, нестационарним, енергоємним і багатозв'язним об'єктом, тому актуальним завданням є створення системи керування, що ґрунтується на сучасних наукових підходах і структурі автоматизованої системи керування. Розроблено моделі підсистеми керування БК для контуру витрата пари та бражки–тиск низу колони, що мають лінійну структуру, відображають статичку й динаміку процесів брагоректифікації. Оцінку значень параметрів моделі проведено відповідно до прийнятого критерію якості, що характеризує ступінь адекватності моделі об'єкта шляхом порівняння значень моделі та реальної системи.*

**Ключові слова:** адекватність моделі, бражна колона, ідентифікація, математична модель, підсистема керування.

**Постановка проблеми.** З точки зору системного аналізу, брагоректифікаційні установки (БРУ), що входять до технологічного комплексу (ТК) спиртового заводу, є складними об'єктами керування, яким притаманні енергомісткість, багатозв'язність, нестационарність. Існуючі системи авто-

матизації БРУ, направлені на стабілізацію основних параметрів процесу, не дозволяють у повній мірі своєчасно реагувати на певні технологічні ситуації, які виникають унаслідок змінювання якісних показників сировини та нештатних ситуацій [1]. Актуальним завданням є створення системи керування, яка ґрунтується на сучасних наукових підходах [2] і структурі автоматизованої системи керування, має математичну модель. Для вирішення поставленого завдання необхідно побудувати математичну модель, адекватну технологічному процесу брагоректифікації.

**Мета дослідження:** на основі технологічних особливостей процесу створити математичну модель бражної колони ТК спиртового заводу для аналізу і синтезу ефективної системи керування обраним об'єктом.

**Матеріали і методи дослідження.** Для аналізу процесів брагоректифікації обрано триколонну БРУ непрямої дії, яка складається з бражної БК, епюраційної ЕК та ректифікаційної РК колон, де відбуваються складні фізико-хімічні процеси, що мають стохастичну природу, змінні в просторі і часі, багатозазові та багатоконпонентні потоки, які беруть у них участь. Існуючі моделі [3; 4] не враховують області невизначеності, в якій працює БК, або є занадто складними для використання в контурах керування.

Розглядається БК, що має складну динамічну систему із сильними перехресними зв'язками. Для розробки системи керування БК необхідним є розгляд комплексу математичних моделей, що дозволяють глибше вивчити фізичні закономірності процесу перегонки бражки і встановити ряд важливих властивостей БК як об'єкта керування для покращення якісних і кількісних показників роботи всього ТК.

**Результати і обговорення.** Якісним показником оптимального режиму роботи БК є вміст спирту в бражному дистилляті, а його втрати з бардою мають становити не більше 0,015 об.% за умови зменшення енерговитрат на перегонку бражки, оскільки БК є найбільш енергоємним об'єктом у БРУ [5].

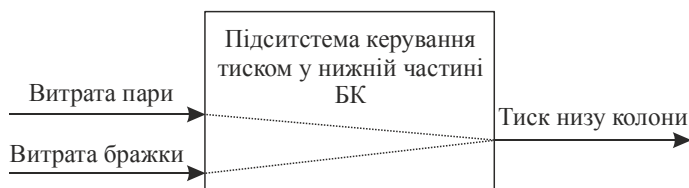
Властивість багатозв'язності БК проявляється в складному взаємозв'язку керуючих параметрів і вихідних змінних стану. Підтримка необхідного режиму роботи бражної колони потребує врахування узгодженості керування регульовальними змінними, оскільки зміна однієї вхідної величини в більшості випадків призводить до зміни всіх або декількох вихідних змінних [4].

Важливим показником роботи БК є температура у верхній частині колони, яка визначається залежно від завантаження колони бражкою відповідної температури (88 °С). При недостатньому завантаженні температура зростає, залежно від цього зростає витрата пари і, як наслідок, зменшується концентрація спирту в бражному дистилляті [6]. Зміна температури в нижній частині колони відображає зміну допустимих витрат спирту з бардою. Тиск бражної колони характеризується великою безінерційною вихідною змінною, яка змінюється залежно від витрати пари. Відповідно, порушення в перехідному процесі умов матеріального балансу колони по спирту впливає на міцність бражного дистилляту більше, ніж зміни умов масопередачі при зміні парового потоку, а інерційність колони визначається кількістю бражки на тарілках. Витрата охолоджувальної води найбільше впливає на температуру конденсатора і на температуру охолоджувальної води після горизонтального конденсатора.

З проведеного аналізу випливає, що для входів витрата пари, витрата бражки і витрата охолоджувальної води характерні такі виходи: тиск у нижній частині колони, температура у верхній частині колони і температура охолоджувальної води після конденсатора.

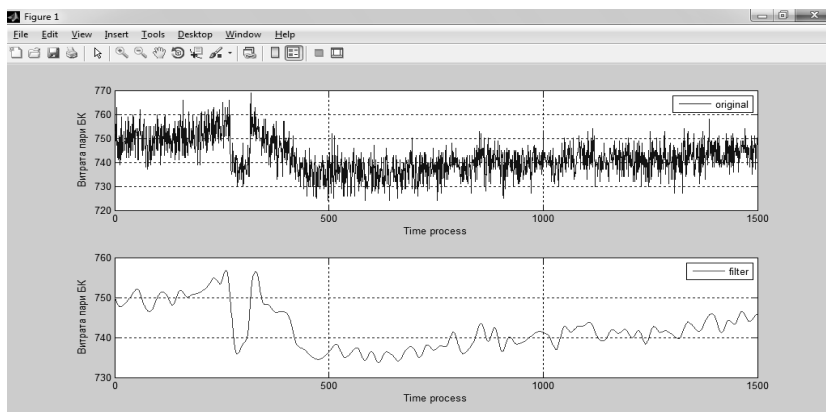
На початковому етапі розробки системи керування БК необхідним є розгляд комплексу математичних моделей, які відображають статику та динаміку процесів брагоректифікації шляхом комп'ютерного експерименту. Отримання математичної моделі полягає у вирішенні задачі ідентифікації, тобто описі властивостей об'єкта керування за допомогою математичних залежностей, а також оцінці адекватності отриманої моделі [7].

У дослідженнях використовується набір експериментальних даних зміни витрати пари, витрати бражки й тиску в нижній частині колони, які отримані на Червонослобідському спиртзаводі за нормальних умов роботи. Параметрична схема підсистеми керування тиском у нижній частині БК представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Параметрична схема підсистеми БК**

В умовах нестационарності сигналів і наявності в них вимушеного шумового фону (промислового, транспортного тощо) для фільтрації часових рядів БК використовується вейвлет-перетворення. Результати моделювання представлені на рис. 2.



**Рис. 2. Тренд витрати пари (експериментальний і фільтрований)**

Для вирішення задачі ідентифікації математичної моделі БК використовується пакет System Identification Toolbox, за допомогою якого за часовими входними та вихідним експериментальними даними можна описати

поведінку динамічної системи в різних формах, визначити відповідну структуру і порядок моделі, виконати оцінку її параметрів, а також перевірити модель на адекватність. Структура моделі в координатах стану має такий вигляд:

*mn4sid* =

Discrete — time identified state — space model:

$$x(t + T_s) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + K \cdot e(t);$$

$$y(t) = C \cdot x(t) + D \cdot u(t) + e(t),$$

де  $y$  — вектор виходів;  $x$  — вектор координат стану;  $u$  — вектор входів;  $e$  — збурення;  $t$  — час з дискретністю  $T_s$ ;  $A, B, C, D, K$  — матриці.

$$A = \begin{bmatrix} 0.8949 & -0.07088 & -0.2216 & 0.3301 & 0.1489 \\ 0.01315 & 0.8142 & -0.522 & -0.3146 & 0.08852 \\ -0.01889 & 0.5721 & 0.5895 & 0.5819 & -0.005276 \\ -0.08666 & 0.03232 & -0.4622 & 0.3815 & -0.5961 \\ 0.03761 & 0.04441 & -0.01585 & -0.04694 & -0.4301 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.000568 & 0.03302 \\ 0.001911 & 0.009121 \\ -0.0003664 & -0.02353 \\ -0.005518 & -0.1553 \\ -0.01993 & -0.333 \end{bmatrix};$$

$$C = [0.07929 \quad -0.0001643 \quad -0.002165 \quad -0.005033 \quad -0.0002269];$$

$$D = [0 \quad 0];$$

$$K = \begin{bmatrix} 11.99 \\ -0.4827 \\ 1.642 \\ 3.281 \\ -2.325 \end{bmatrix}.$$

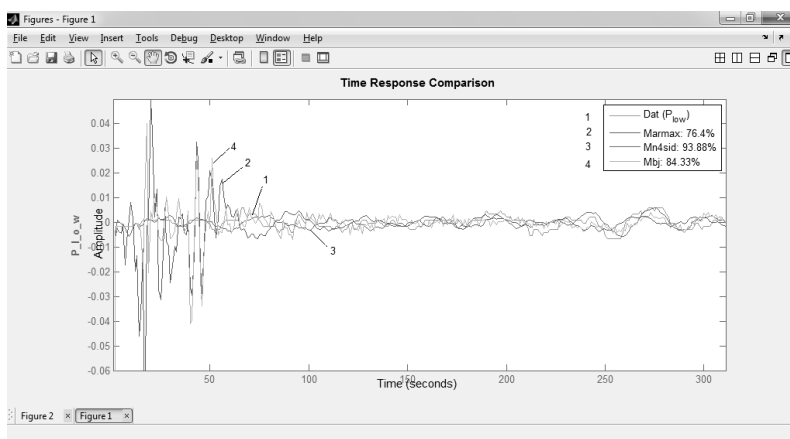
За нормальних умов роботи БК можна розглядати як стаціонарну і описувати її у вигляді лінійної багатовимірної моделі. В таблиці наведені порівняльні характеристики лінійних моделей, що найкраще описують поведінку системи: ARMAX — авторегресійна модель ковзного середнього; N4SID — модель у просторі змінних стану, метод ідентифікації якої базується на підпросторах; BJ — поліноміальна модель Боба-Дженкінса [8]. Оцінка значень параметрів моделі проводиться відповідно до прийнятого критерію якості, що характеризує ступінь адекватності моделі об'єкта шляхом порівняння значень моделі та реальної системи на одну і ту ж експери-

ментальну дію: FPE — кінцева помилка прогнозу моделі; MSE — середньо-квадратична похибка; NRMSE — нормалізована середньо-квадратична похибка.

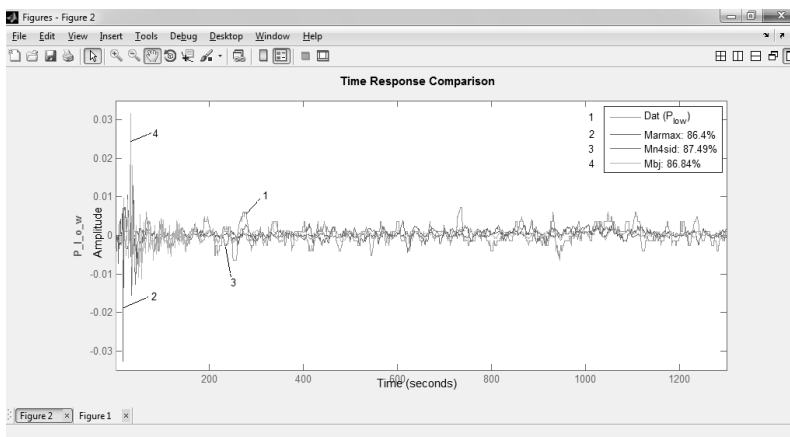
*Таблиця. Порівняльні характеристики лінійних моделей*

Назва моделі	Кількість знайдених параметрів	Похибки		
		FPE	MSE	NRMSE
ARMAX	9	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	89,7 %
N4SID	45	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	94,9 %
VJ	16	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	87,9 %

Тренди експериментальних даних і розроблених моделей представлені на рис. 3 і 4. Варто зазначити, що найкраще відтворює процес N4SID-модель, однак зі збільшенням вибірки різниця між алгоритмами зникає.



**Рис. 3. Тренд експериментальних даних і розроблених моделей (у відхиленнях)**



**Рис. 4. Тренд експериментальних даних і розроблених моделей (у відхиленнях)**

## Висновки

Математична модель бражної колони брагоректифікаційної установки характеризується високим порядком  $i$ , хоча наявна багатозв'язність технологічних змінних процесу, побудову моделі необхідно виконувати для кожної підсистеми окремо. Розроблені моделі підсистеми керування для контуру витрата пари та бражки–тиск низу колони, що мають лінійну структуру, виявилися адекватними. Далі передбачається їх використання в адаптивній системі керування, що підвищить якість керування, а також для оперативного аналізу якості та продуктивності всього ТК.

## Література

1. Гриценко Н.Г. Сучасні методи керування брагоректифікаційними установками / Н.Г. Гриценко, А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, Я.В. Смітюх, Р.Г. Кириленко // Енергетика і автоматика. — 2016. — № 3. — С. 68—78.
2. Ладанюк А.П. Методи сучасної теорії управління: навч.посіб. / А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Н.М. Луцька, В.В. Івашук. — Київ: НУХТ, 2010. — 196 с.
3. Мандельштейн М.Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации [Текст] / М.Л. Мандельштейн. — Москва: Пищевая промышленность, 1975. — 240 с.
4. Смітюх Я.В. Автоматизоване управління брагоректифікаційною установкою на основі сценарного підходу: дис. на здобуття наук. ступеня к.т.н.: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / Я.В. Смітюх. — Київ, 2007. — 282 с.
5. Марченко В.О. Технологія спирту [Текст] / В.О. Марченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян та ін.; за ред. проф. В.О. Маринченка. — Вінниця: «Поділля-2000», 2003. — 496 с.
6. Яровенко В.Л. Технологія спирта [Текст] / В.Л. Яровенко, В.А. Маринченко, В.А. Смирнов і др. — Москва: Колос, «Колос-Пресс», 2002. — 465 с.
7. Луцька Н.М. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами [Текст] монографія / Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. — Київ: Видавництво Ліра-К, 2015. — 288 с.
8. Ljung L. System Identification: Theory for the User, Appendix 4A, Second Edition. — Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1999. — 609 p.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БРАЖНОЙ КОЛОННОЙ

Н.Н. Луцкая, Н.Г. Гриценко

Национальный университет пищевых технологий

*В статье рассмотрена бражная колонна (БК), которая является сложным, нестационарным, энергоемким и многосвязным объектом, поэтому актуальной задачей является создание системы управления, основанной на современных научных подходах и структуре автоматизированной системы управления. Разработанные модели подсистемы управления БК для контура расход пара и бражки–давление снизу колонны имеют линейную структуру, отражают статику и динамику процессов брагоректификации. Оценка значений параметров модели производится в соответствии с принятым критерием качества, который характеризует степень адекватности модели объекта путем сравнения значений модели и реальной системы.*

**Ключевые слова:** адекватность модели, бражная колонна, идентификация, математическая модель, подсистема управления.