

# АВТОМАТИЗАЦІЯ СУШІННЯ ГЛИНИ У ПРЯМОТОЧНІЙ БАРАБАННІЙ СУШАРЦІ

Вінницький національний технічний університет, Україна

## Анотація

Запропоновано комплексну систему автоматизації процесу сушіння глини у прямооточній барабанній сушарці з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340. Система містить чотири контури регулювання (паливо-повітря, температури у камері змішування, температури у барабані з корекцією за вологістю, розрідження) та контур захисту. Розроблено математичну модель сушарки, налаштовано ПІ-регулятор і підтверджено енергоефективність рішення за результатами моделювання. Впровадження системи знижує питомі витрати палива на  $1,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot \text{т}^{-1}$  і забезпечує окупність 0,58 року.

**Ключові слова:** глина, прямооточна барабанна сушарка, автоматизація, енергозбереження, Modicon M340, ПІ-регулятор.

## Abstract

An integrated system for automating the clay drying process in a direct-flow drum dryer using a Modicon M340 microprocessor controller is proposed. The system contains four control loops (fuel-air, temperature in the mixing chamber, temperature in the drum with humidity correction, and vacuum) and a protection loop. A mathematical model of the dryer was developed, the PI controller was tuned, and the energy efficiency of the solution was confirmed by simulation results. Implementation of the system reduces specific fuel consumption by  $1.5 \text{ kWh} \cdot \text{t}^{-1}$  and provides a payback period of 0.58 years.

**Keywords:** clay, straight-flow drum dryer, automation, energy saving, Modicon M340, PI controller.

## Вступ

Сушіння – це тепловий процес зневоднення твердих матеріалів шляхом випаровування вологи та відведення утворених парів, при якому в речовині відбуваються перенесення тепла та дифузійне переміщення вологи [1]. Тривалість сушіння визначається часом, необхідним для зниження вмісту вологи в матеріалі від початкового значення до кінцевого.

Метою сушіння глини є покращення її технологічних властивостей шляхом зменшення вологості, що сприяє зниженню усадки, підвищенню міцності готових виробів та розширенню сфер подальшого використання матеріалу у будівництві та промисловості [2, 3]. Технологічна лінія сушіння сипучих матеріалів використовує прямооточну барабанну сушарку, технологічну схему якої наведено (рис. 1).

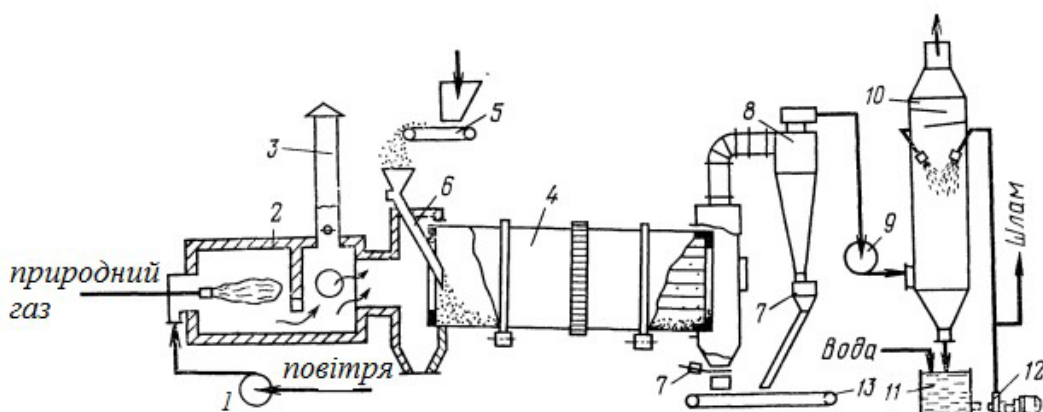


Рисунок 1 — Конструкція барабанної прямооточної сушарки

Барабанна сушарка являє собою циліндричний апарат із внутрішньою насадкою, що забезпечує рівномірний контакт частинок з теплоносієм (рис. 2) [4-6]. Критерієм керування процесом, а отже показником його ефективності, виступає вологість висушеної глини [7-10]. Одна з відомих функціональних схем автоматизації установки показана на рис. 3 [4].

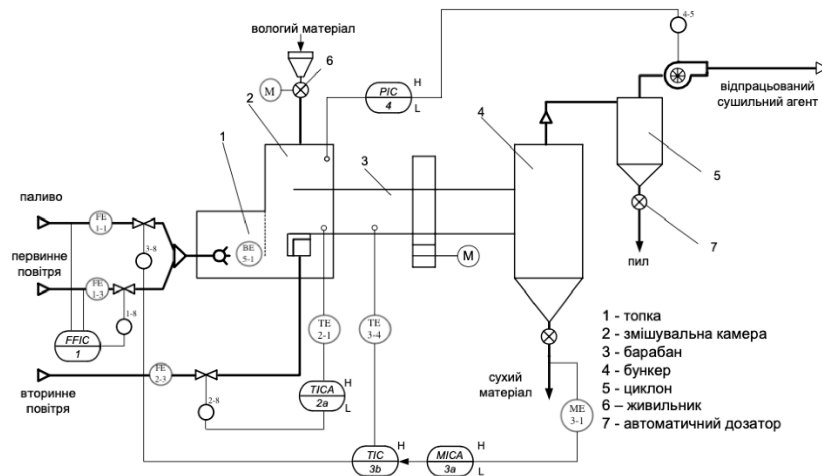


Рисунок 2 — Спрощена схема барабанної прямоточної сушарки

Для синтезу системи автоматичного регулювання визначено математичну модель об'єкта та розраховано оптимальні параметри ПІ-регулятора методом розширених амплітудно-фазових характеристик Найквіста [7,11]. Метою роботи є створення адаптивної САУ, що забезпечує сталі технологічні показники при мінімальних енергетичних витратах.

### Результати дослідження

**Структура системи керування.** Розроблена САУ (рис. 4) містить чотири контури: 1) Співвідношення витрат газу та первинного повітря; 2) Температура сушильного агента у змішувальній камері; 3) Температура агента у барабані з корекцією за вологістю продукту; 4) Розрідження у змішувальній камері. Спрощена функціональна схема автоматизації (ФСА) процесу сушіння глини в прямоточній барабанній сушарці зображена на рис. 4.

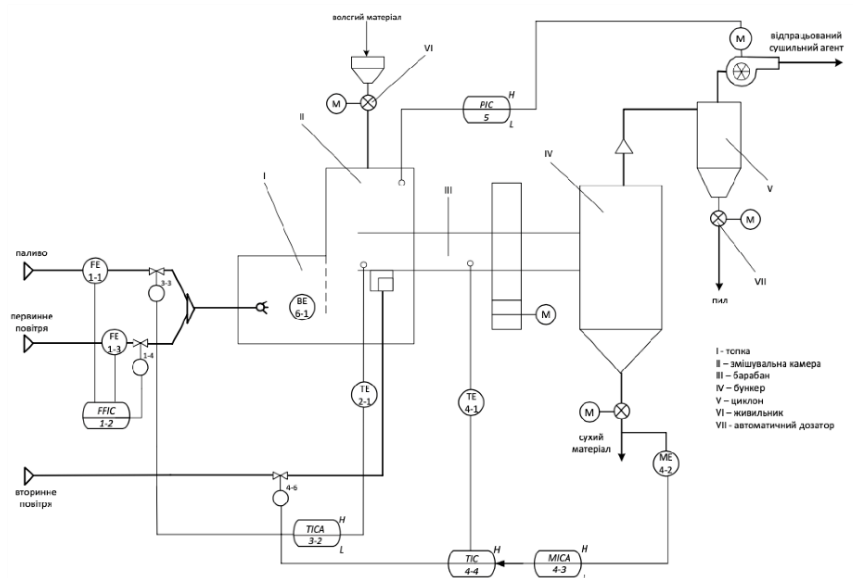


Рисунок 4 — Спрощена функціональна схема автоматизації (ФСА) процесу сушіння глини в прямоточній барабанній сушарці

**Розробка схеми системи і вибір технічних засобів для її реалізації.** Розроблено схему системи й дібрано технічні засоби для її реалізації. Розроблено й обгрунтовано структуру системи керування. Дібрано комплекс технічних засобів і мікроконтролер. Описано функціональні схеми автоматизації, що, зокрема, передбачають регулювання співвідношення витрат палива та первинного повітря, температури у камері змішування шляхом зміни подачі газу, температури сушильного агента в барабані з корекцією за вологістю висушеного матеріалу та розрідження у змішувальній камері. Побудовано схему захисту. Розроблено електричні схеми з'єднання контролера із засобами автоматизації. Складено специфікацію засобів автоматизації. Описано технологічний об'єкт регулювання та процедуру визначення його динамічної моделі. Розраховано оптимальні налаштувальні параметри автоматичного ПІ-регулятора (рис. 5).

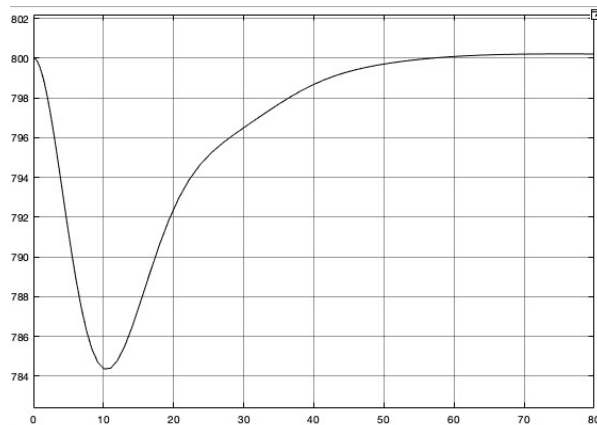


Рисунок 5 — Перехідний процес в одноконтурній САР з ПІ-регулятором при дії на нього збурення – витрати первинного повітря, величиною 25 м<sup>3</sup>/год

### Висновки

Проведено аналіз роботи прямооточної барабанної сушарки як об'єкта автоматизації, обґрунтовано вибір прямооточного методу сушіння як оптимального з точки зору енергоефективності та стабільності процесу. Надано рекомендації щодо зниження енергоспоживання в процесі сушіння. Розроблено алгоритм керування автоматизованою системою сушіння глини, обґрунтовано вибір апаратних та програмних засобів для реалізації цієї системи. Створено електричні схеми автоматизації, обрано оптимальні конструкторські рішення щодо розміщення елементів системи. Використання сучасної елементної бази дозволило зменшити вартість реалізації системи, підвищити її надійність та забезпечити більш точний і гнучкий контроль параметрів процесу сушіння.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Технології сушіння : навч. посібник / В. В. Шутюк, Т. М. Левківська, О. В. Душак, К. В. Рубанка, О. С. Бессараб, С. А. Бут. – Київ : НУХТ ; АртЕк, 2024. – 355 с.
2. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Тепломасообмінні технології переробки пектинвмісної сировини: Монографія. – К.: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2018. – 228 с. ISBN 978-617-7457-69-4
3. Погожих М.І., Потапов В.О., Пак А.О., Жеребкін М.В. Енергоефективні технології та техніка сушіння харчової сировини. – Харків: ХДУХТ, 2016.
4. І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. Автоматизація виробничих процесів: підручник — Вид. 2-ге, виправлене. — К.: Вид. Ліра-К, 2015. — 378 с.
5. American Institute of Chemical Engineers Guidelines for safe automation of chemical processes. New York, N.Y.:Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1993. 1 p. ISBN 978-0-8169-0554-6.
6. Landau I. D., Lozano R., Saad M. M., Karimi A. Adaptive Control: Algorithms, Analysis and Applications [Електронний ресурс] : preprint. – arXiv, 2024. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/2406.07073> (дата звернення: 14.06.2025).
7. Касаткін А. Г. Основні процеси і апарати хімічної технології : підручник. – Київ : Хімія, 2004. – 656 с.
8. Крих Г. Крих Г. Б., Матіко Ф. Д. Теорія автоматичного керування : підруч. для ЗВО. – Львів : Сполом, 2017. – 528 с.
9. Крих Г. Б., Матіко Г. Ф. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів : навч. посіб. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2017. – 240 с.
10. Касаткін А. Г. Основні процеси і апарати хімічної технології : підручник. – Київ : Хімія, 2012. – 720 с.
11. Manometr-Kharkiv LLC. Differential Pressure Transmitters «Safir-M» : catalogue. – Kharkiv, 2023. – 60 p.

**Шеков Данііл Сергійович** — студент кафедри комп'ютерних систем управління за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», e-mail: [linadsekov@gmail.com](mailto:linadsekov@gmail.com).

**Shekov Daniil** — student of the Department of Computer Control Systems, majoring in Automation and Computer-Integrated Technologies, e-mail: [linadsekov@gmail.com](mailto:linadsekov@gmail.com).