

Автоматизація сушильної шафи з резистивним нагрівачем

Вадим Луценко, канд. тех. наук, доц.¹ (ORCID: 0000-0002-9727-5574), Сергій Іносов, канд. тех. наук, доц.¹ (ORCID: 0000-0001-8305-5514), Валерій Жадан, студент¹ (ORCID: 00009-0002-6279-3133)

¹Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

АНОТАЦІЯ

У проведеному дослідженні розроблено автоматизовану систему керування сушильною шафою. Застосування мікроконтролера та цифрового датчика температури дозволили розширити функціональні можливості, залишивши вартість розробки на низькому рівні. Результатом вивчення стала розробка математичної моделі сушильної шафи та визначення її параметрів. Особливу увагу було приділено питанням дослідження лінійності об'єкту управління. Отримані результати дозволяють в подальшому розробити та налагодити ПД-регулятор для реалізації заданих теплових режимів роботи сушильної шафи.

Ключові слова: сушильна шафа, ТАУ, вимірювання, датчик, моделювання, ідентифікація, контролер.

1. ВСТУП

Процес сушки матеріалів та виробів є одним із ключових етапів багатьох технологічних процесів, при цьому якість його проведення переважно впливає на необхідні фізико-механічні властивості, надійність та довговічність продукції. Наприклад, у виробництві будівельних матеріалів (цегли, бетонних виробів, виробів з деревини, оздоблювальних елементів) сушка є ключовою операцією, від якої залежить як подальша обробка, так і експлуатаційні характеристики цієї продукції. Традиційні методи сушки, що ґрунтуються на практичному досвіді та ручному контролі, часто не задовольняють в повній мірі вимогам енергоефективності, супроводжуються нерівномірним просушуванням, що в свою чергу спричиняє появу внутрішніх напружень, деформацій та дефектів у матеріалах. Таким чином підвищення точності, ефективності та стабільності процесу сушки є актуальним науково-практичним завданням, розв'язання якого стає можливим за рахунок впровадження систем автоматизації.

2. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Процес розробки системи автоматизації передбачає розробку математичної моделі об'єкту автоматизації з подальшим визначенням її параметрів. Метою проведеного дослідження стала розробка математичної моделі сушильної шафи з резистивним нагрівачем та експериментальне визначення її параметрів.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Підвищити ефективність процесу сушки в сушильних шафах з резистивним нагрівачем вдається за рахунок розробки впровадження мікропроцесорних систем управління, що дозволяють контролювати декілька параметрів одночасно. У роботі [1] представлено результати розробки системи управління сушильною шафою, що крім контролю температури дозволяє коректувати параметри сушіння з урахуванням залишкової вологості.

У роботі [2] досліджуються результати розробок систем управління сушильними шафами методами IoT технологій,

що надають можливості віддаленого моніторингу сушильних камер.

Питанням підвищення точності вимірювання температури в сушильних шафах присвячено роботу [4]. Автори розробили та провели дослідження характеристик автоматизованої системи вимірювання температури в сушильній шафі в умовах діючих шумів та завод.

У ході проведеного дослідження було розроблено автоматизовану систему управління сушильною шафою типу «2В-151», структурна схема якої представлена на рис. 1.

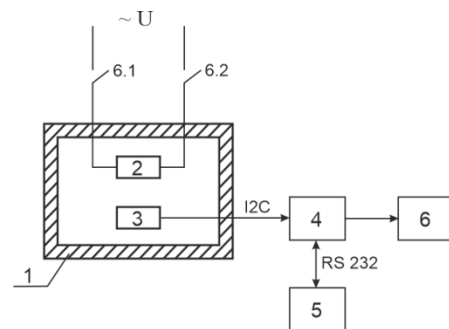


Рисунок 1. Структурна схема автоматизованої системи управління сушильною шафою

Сушильна шафа 1 обладнана резистивним нагрівачем 2 з потужністю близько 500Вт. Вимірювання температури у внутрішній камері шафи здійснюється за допомогою датчика температури 3, в якості якого використано цифровий термометр DS18B20, що забезпечує діапазон вимірювання $-55..+125$ °C. Система управління сушильною шафою розроблена на основі мікроконтролера 4 – ESP-32. Передача результатів вимірювання температури в мікроконтролер здійснюється з використанням інтерфейсу I2C. Управління резистивним нагрівачем 2 здійснюється за допомогою реле 6, роботою якого керує мікроконтролер.

Верхній рівень автоматизованої системи утворений ПЕВМ з прикладним програмним забезпеченням, в якості якого використано MatLab. Канал інформаційного обміну між мікроконтролером та ПЕВМ реалізовано на основі інтерфейсу RS-232.

Основною задачею розробленої автоматики є автоматичне регулювання температури в сушильній шафі

шляхом зміни нагріву. Для розрахунків динаміки регулювання пропонується використати модель з наступних елементарних ланок (рис.2).

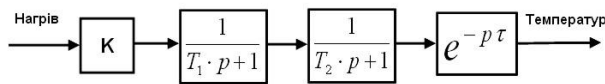


Рисунок 2 Універсальна модель теплових об’єктів

Модель має чотири чисельні параметри: K – статичний коефіцієнт передачі об’єкта, τ – час запізнення, T_1 , T_2 – перша і друга сталі часу об’єкта. Запропонована модель враховує всі суттєві особливості теплового об’єкта: статизм (наявність усталеного режиму), наявність аперіодичних інерційностей (враховуються дві основні з сталими часу T_1 і T_2), наявність запізнення $e^{-p\tau}$, яке відносно мале в загальній інерційності об’єкта, але сильно обмежує запас стійкості системи регулювання. Передавальна функція використаної моделі має вид:

$$W_0(p) = \frac{K \cdot e^{-p\tau}}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)} \quad (1)$$

Ідентифікацію параметрів моделі було проведено з використанням кривої розгону (рис. 3).

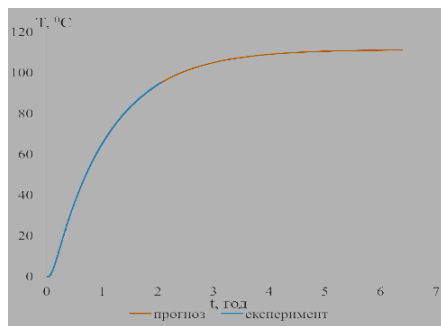


Рисунок 3. Крива розгону сушильної шафи

Отримані експериментальні результати вимірювання температури в шафі були апроксимовані функцією виду:

$$T(t) = \begin{cases} 0, & t \leq \tau; \\ K_1(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_1}}) + K_2(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_2}}), & t > \tau; \end{cases} \quad (2)$$

Оскільки апроксимуюча функція є нелінійною, то визначення коефіцієнтів K_1 , K_2 , T_1 , T_2 , τ проводилось узагальненим методом приведенного градієнту (GRG method). Результати визначення параметрів моделі наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри моделі сушильної шафи

K_1	K_2	K	$T_1, год$	$T_2, год$	$\tau, год$
119,07	-7,55	111,52	1,02	0,06	0,036

Як видно з графіку (рис. 3) має місце достатньо високий рівень співпадіння експериментальних результатів з апроксимуючою функцією, що дозволяє використати отримані результати моделювання в процесі подальшого синтезу та налагодження ПД-регулятора.

Якість та ефективність роботи системи автоматичного регулювання визначається властивостями об’єкта

регулювання. Високих показників якості регулювання можна досягти лише для об’єктів, що задовольняють критеріям лінійності, інерційності та стаціонарності. Очевидно, в першу чергу, слід з’ясувати питання про лінійність об’єкта.

Для лінійних об’єктів при фіксованій формі будь-якого вхідного сигналу повинна виконуватися така умова: у скільки разів відбулося збільшення вхідного сигналу, не змінюючи його форми, у стільки ж разів повинен збільшитися вихідний сигнал, також зберігаючи свою форму. Саме таке формулювання критерію лінійності було використано під час вивчення властивостей сушильної шафи. У ході проведеного дослідження співставлялися крива розгону для номінального значення напруги живлення та крива розгону, що була отримана для напруги живлення у двічі меншій за номінальну. Аналіз отриманих результатів показав, що у заданих межах в кожний момент вимірювання значення температури були пропорційними з коефіцієнтом пропорційності близьким до 2. Отримані результати з високою долею вірогідності свідчать про лінійні властивості сушильної шафи як об’єкту керування.

4. ВИСНОВКИ

Актуальність автоматизації процесу сушки обумовлена потребою сучасного будівельного виробництва у гарантованій якості матеріалів при дотриманні термінів виконання робіт та мінімізації собівартості. Впровадження сучасних автоматизованих систем керування дозволяє перевести процес сушіння на рівень точної технології.

У проведеному дослідженні розроблено автоматизовану систему керування сушильною шафою. Застосування мікроконтролера та цифрового датчика температури дозволили розширити функціональні можливості, залишивши вартість розробки на низькому рівні. Результатом вивчення стала розробка математичної моделі сушильної шафи та визначення її параметрів. Особлива увага була приділена питанням дослідження лінійності об’єкту управління. Отримані результати дозволять в подальшому розробити та налагодити ПД-регулятор для реалізації заданих теплових режимів роботи сушильної шафи.

Список літератури

- [1] M. Tümayetal. Design and implementation of smart and automatic oven for food drying. *SageJournals. Measurementand Control*.2021. Vol 54. P.396-407. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/00202940211000084>
- [2] MishraN. Development of drying system by using internet of things. *Energy Nexus*. 2023. Vol. 11. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427123000499>
- [3] Трушаков Д., Козловський О. Автоматизована система фільтрації завод під час вимірювання температури сушильної шафи. *Electronics and information technologies*. 2021. № 15, С.80-89.