

---

**ЛІНГВІСТИЧНИЙ АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ З НЕПОВНОЮ ВИЗНАЧЕНІСТЮ**

---

**Вступ.** В якості об'єкта автоматизації з неповною визначеністю розглянуто роторні вакуумні печі, що використовуються для виробництва гільз із кварцового скла [1]. Із гільз потім виробляють труби різних діаметрів і товщини стінок [2].

**Аналіз попередніх досліджень.** З точки зору автоматизації роторні вакуумні печі незручні тим, що роторна частина печі після завантаження кварцової сировини герметично закривається. І встановити датчики температури в різних точках печі немає ніякої можливості. Тому традиційною автоматизацією їх є стабілізація обертів приводу печі і вакууму, а також заданої потужності, що споживається графітовими нагрівачами [3]. При плавленні кварцової сировини змінюється густина матеріалу на одиницю об'єму, змінюється параметри теплопровідності та питомої теплоємності. Такі зміни протікають одночасно не по всьому об'єму і залежать від просторової координати, часу та температури. До того ж процес плавлення проходить неоднаково вдовж гільзи: кінці гільзи піддані більшій втраті тепла ніж середина, через що виплавлені гільзи мають конусність на кінцях. Таким чином, побудувати адекватну математичну модель дуже складно і роторну вакуумну піч як об'єкт автоматизації можна вважати неповністю визначеним.

**Мета роботи.** На основі математичного апарату нечітких множин і експертних оцінок режимів роботи печі розробити лінгвістичний алгоритм керування технологічним процесом.

**Матеріали і результати дослідження.** Через існування випадкових впливів та непередбачуваних факторів про перебіг процесу в печі ніколи не можна знати, навіть дотримуючись заданих умов і технології виробництва.

Бажаних якісних характеристик, дотримуючись установлених режимом меж, можна досягти застосуванням певної стратегії керування технологічним процесом. Стратегія керування повинна включати в себе мету керування та комплекс експертних рішень.

При цьому цілі керування підпорядковуються загальній меті – забезпечити найкращі якісні характеристики виробу.

Отже, стратегія керування є найвищим рівнем у структурі управління технологічним процесом.

Аналіз часових діаграм потужності, яка виділяється на заготовці, й тиску в камері засвідчує відсутність односторонніх залежностей між часом плавлення, потужністю плавлення та тиском у камері. Однак практика показує, що завжди з певною достовірністю можна спостерігати ряд фактів: 1) зі стрибкоподібним зростанням температури тиск у камері різко підвищується; 2) з плином часу при незмінній температурі тиск у камері нормалізується; 3) у кінці процесу плавлення за рахунок поступового збільшення потужності плавлення спостерігається збільшення газовиділення, що призводить до появи підвищеного тиску.

Таким чином, базовими величинами у стратегії керування виступають час, потужність (температура) та тиск у камері (вакуум). Саме вони найбільше впливають на якість виплавлених гільз.

Під час процесу плавлення спостерігаються характерні коливання вакууму, які можна схарактеризувати словесно так: «зона нормального вакууму», «зона зниженого вакууму», «зона низького вакууму», «зона критичного вакууму».

Відповідно до цього основою при прийнятті експертних рішень можуть служити наступні міркування:

*Зона нормального вакууму.* Насоси працюють у нормальному режимі й підтримують заданий вакуум. Об'єм газів, що виділяється кварцовою крупкою, повністю відводиться. Температурний режим необмежений. Виникнення бульбашок неможливе або малоімовірне.

*Зона зниженого вакууму.* Унаслідок газовиділення кварцової крупки спостерігається зниження вакууму в камері. Нормалізація вакууму може бути здійснена утриманням даної температури. Насоси мають певну інерційність, тому відкачати надлишкові гази за короткий час не можуть. Можна зміною температурного режиму. Це дозволить знизити газовиділення та нормалізувати вакуум. Газові бульбашки не виникнуть чи вірогідність їх появи буде малою. При цьому необхідно дотримуватися правил:

а) якщо температура низька – можливе утворення газових бульбашок усередині маси. Для їх ліквідації необхідно збільшити час плавлення або температуру;

б) якщо температура висока – можливе утворення газових бульбашок усередині маси. Для уникнення їх появи потрібно зменшити температуру чи збільшити час плавлення. Збільшення часу дає змогу насосам відкачати надлишковий тиск.

*Зона низького вакууму.* Відбувається інтенсивне газовиділення, насоси не можуть повністю утримувати вакуум. Нормалізація тиску може бути здійснена: утриманням даної температури – можливо, це явище короткочасне і насоси зможуть нормалізувати вакуум. Зміною температурного режиму – це дозволить знизити газовиділення. При цьому необхідно дотримуватися правил:

а) якщо температура низька – велика ймовірність появи газових бульбашок. Виріб не готовий, тому потрібно збільшити час плавлення або пришвидшити його виготовлення за допомогою підвищення температури;

б) якщо температура висока – значна ймовірність виникнення газових бульбашок. Можливе також закипання і здимання маси. Необхідно знизити температуру.

*Критичний вакуум.* Крайній випадок, обумовлений короточасним виходом за межі режиму або відмовою чи виходом із ладу насосів. Приймати рішення потрібно виходячи з діаграми «час – потужність плавлення», залежно від того, на якій стадії виготовлення знаходиться виріб.

Реалізувати вищенаведену стратегію керування видається можливим при застосуванні елементів нечіткої логіки як апарату, що дозволяє формалізувати лінгвістичний алгоритм керування процесом. Таким чином, базовим елементом у системі автоматичного керування процесом виготовлення гільз із кварцового скла є нечіткий контролер, котрий виконує функцію прийняття експертних рішень – базовий контролер стратегії.

Дані вимірювальних пристроїв проходять первинну обробку, потім фазифікуються (перетворюються у нечіткий формат), оброблюються відповідно до правил, дефазифікуються й у вигляді звичайних сигналів подаються на виконавчий пристрій. Розглянемо кожний блок окремо.

У блок початкової обробки інформації надходить сигнал від об'єкта керування за допомогою вимірювальних пристроїв. Але цей сигнал не несе в собі лінгвістичних висновків.

Блок фазифікації ставить у відповідність кожному числу  $X_i$ , що надійшло з блоку початкової обробки інформації, значення функції належності  $\mu_A(x)$ . Блок фазифікації виконує задачу співставлення вхідних даних з нечіткими правилами та лінгвістичними змінними і визначає, наскільки точно умова кожного нечіткого правила збігається зі значенням функції належності  $\mu_A(x)$ . У якості вхідних змінних використовуємо «час плавлення»  $X_t$ , «потужність плавлення»  $X_p$  та «вакуум у камері»  $X_Q$ .

Тоді термами лінгвістичної змінної «час плавлення»  $X_t$  є: «початок»  $(a_t^1)$ , «середина»  $(a_t^2)$ , «за середину»  $(a_t^3)$ , «ближче до кінця»  $(a_t^4)$ , «кінець»  $(a_t^5)$ . Область визначення  $X_t = \{0;1\}$ . Термами лінгвістичної змінної «потужність плавлення»  $X_p$  є: «низька»  $(a_p^1)$ , «нормальна»  $(a_p^2)$ , «висока»  $(a_p^3)$ . Область визначення  $X_p = \{0;1\}$ . Термами лінгвістичної змінної «вакуум у камері»  $X_Q$  є: «зона нормального вакууму»  $(a_Q^1)$ , «зона зниженого вакууму»  $(a_Q^2)$ , «зона низького вакууму»  $(a_Q^3)$ , «зона критичного вакууму»  $(a_Q^4)$ . Область визначення  $X_Q = \{0;1\}$ .

У якості вихідних змінних, відповідно до запропонованої стратегії керування, використовуємо «потужність плавлення»  $Y_p$  з вихідними термами-рішеннями: «утримувати потужність»  $(d_p^1)$ , «збільшити потужність»  $(d_p^2)$ , «достатньо збільшити потужність»  $(d_p^3)$ , «зменшити потужність»  $(d_p^4)$ , «достатньо зменшити потужність»  $(d_p^5)$  та «цикл плавлення»  $Y_t$  з термами-рішеннями: «дуже зменшити цикл»  $(d_t^1)^2$ , «достатньо зменшити цикл»  $(d_t^1)$ , «зменшити цикл»  $(d_t^2)$ , «залишити без змін»  $(d_t^3)$ , «збільшити цикл»  $(d_t^4)$ , «достатньо збільшити цикл»  $(d_t^5)$ , «дуже збільшити цикл»  $(d_t^5)^2$ .

У зв'язку з тим, що кожна вхідна або вихідна лінгвістична змінна має словесне описання, а параметри змінних можуть знаходитися в межах певного інтервалу, прийнята  $\pi$ -форма для всіх функцій належності термів вхідних і вихідних змінних. Отже, вхідна змінна «час плавлення» визначається множиною параметрів  $a_t^i = \{b_t^i, c_t^i\} \subset X_t, i=1..5$ , вхідна змінна «потужність плавлення»  $a_p^i = \{b_p^i, c_p^i\} \subset X_p, i=1..3$ , вхідна змінна «вакуум у камері»  $a_Q^i = \{b_Q^i, c_Q^i\} \subset X_Q, i=1..4$ . Аналогічно для вихідних змінних: «потужність плавлення»  $d_p^i = \{b_{dp}^i, c_{dp}^i\} \subset Y_p, i=1..4$ ; змінна «цикл плавлення»  $d_t^i = \{b_{dt}^i, c_{dt}^i\} \subset Y_t, i=1..5$ .

*База знань та експертних рішень.* При розробленні бази знань користуємося правилами Мамдані, тому що такі правила найбільше пристосовані до логічних міркувань оператора. У системах типу Мамдані значення вихідної змінної задаються нечіткими термами  $d_j$ , тоді як у системах типу Такагі – Сугено як лінійна комбінація вхідних змінних.

Таким чином, відповідно до представленої стратегії керування база знань і експертних рішень синтезована у вигляді 45 правил.

Результуюча нечітка множина, що була отримана на виході з блоку рішень, перетворюється блоком дефазифікації на результуючий керуючий сигнал операцією дефазифікації. Імітаційні та натурні дослідження підтверджують ефективність лінгвістичного алгоритму.

**Висновки.** Синтезований лінгвістичний алгоритм автоматичного керування режимами роботи роторної печі опору, що в умовах неповної інформаційної визначеності забезпечує якість технологічного процесу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Ботвинкин О.К. Кварцевое стекло / Ботвинкин О.К., Запорожский А.И. – М.: Издательство литературы по строительству, 1965. –260 с.
2. Справочник по производству стекла. // Под редакцией И.И. Китайгородского и С.И. Сильвестровича. – М.: Гос. издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. –Т.1. –1027 с.
3. Дерлиця М.Й. Удосконалена система керування багатозонними термоагрегатами / Дерлиця М.Й., Піговський Ю.Р., Пасічник Р.М., Качан В.В. // Вісник технологічного університету Поділля. – 2004. – №2, Ч.1, Т.1. – С. 30-33.