

Пуск потужного синхронного двигуна насоса є складним електромеханічним процесом. Реалізовано комбінований алгоритм керування пуском: пуск по струму; реакторний пуск; пуск у функції ковзання.

При пуску по струму контроль здійснюється трансформатором у колі статора. Поки пусковий струм перевищує уставку, подача імпульсів збудження блокується, двигун розганяється як асинхронний.

При реакторному пуску, для зниження просадок напруги використовується введення реактора в коло статора. подача збудження відбувається з фіксованою витримкою часу після шунтування реактора.

Пуск у функції ковзання - це найбільш досконалий метод. Система вимірює частоту ЕРС, наведену в роторі. Збудження подається лише в момент, коли ковзання з низується до критичного значення (вхід у підсинхронну зону), що гарантує успішне втягування в синхронізм без значних механічних ударів на валу насоса.

Розроблений алгоритм керування передбачає циклічне опитування стану датчиків. Після ініціалізації та успішного проходження самодіагностики ("Тестування системи"), мікроконтролер перевіряє наявність напруги на силовому трансформаторі. Далі відбувається активація попередніх підсилювачів та подача відмикаючих імпульсів на тиристори.

В процесі роботи безперервно аналізується сигнал від датчика струму ротора: при виявленні струмів короткого замикання відбувається миттєве блокування імпульсів блоку В та подача команди на вимикач, оминаючи режим інвертування.

Отже, запропонована структура системи керування тиристорним збуджувачем дозволяє реалізувати енергоефективні режими роботи синхронних двигунів насосних станцій. Використання фазового методу керування в поєднанні з алгоритмами захисту від асинхронного ходу та функцією інвертування забезпечує високу живучість обладнання. Подальший розвиток системи вбачається в інтеграції мікропроцесорних контролерів для реалізації цифрового обміну даними з АСУ ТП станції.

УДК 681.518

В.Б. Савків, к.т.н., доцент, І.П. Федорів, В.М. Скицько, М.О. Федчук

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТІСЛОВИХ ЗАГОТОВОК У ТІСЛОРІЗДІЛЮВАЧАХ

V.B. Savkiv, Ph.D., Assoc. Prof., I.P. Fedoriv, V.M. Skytsko, M.O. Fedchuk

**AUTOMATED COMPLEX FOR CONTROLLING DOUGH PARAMETERS IN DOUGH
DIVIDER**

Сучасне хлібопекарське виробництво вимагає безпрецедентної стабільності якості продукції. Це вимагає відмови від застарілих та схильних до дрейфу аналогових методів вимірювання на користь високоточних цифрових рішень. Метою даного дослідження є інтеграція комплексу автоматизованого контролю параметрів тістових заготовок (температури, тиску, рівня) з передовими технологіями комп'ютерного зору та глибокого навчання для забезпечення повного, простежуваного та гнучкого процесу відбракування.

Для забезпечення надійності та гігієнічності контролю використовуються сенсори індустриального класу, розроблені спеціально для харчової промисловості, з дотриманням найвищих стандартів санітарної обробки.

Вимірювання температури, критичного параметра для реології тіста, здійснюється за допомогою платинових термометрів опору (RTD) типу Pt1000. RTD-давачі забезпечують

високу лінійність, мінімальний дрейф та точність до класу А (± 0.15 °C) у робочому діапазоні.

Для гігієнічності давачі монтуються в корпусах з харчової нержавіючої сталі AISI 316 з полірованою поверхнею та санітарними приєднаннями (наприклад, Tri-Clamp), забезпечуючи ступінь захисту IP69K для стійкості до високотемпературного миття. Вимірювальний тракт повністю цифровий, використовує спеціалізовані перетворювачі сигналу (Sigma-Delta АЦП) з чотирипровідною схемою. Це програмно компенсує опір підвідних дротів і надає дані у вигляді цифрового потоку (по протоколу SPI або Modbus), повністю виключаючи аналогові шуми та необхідність використання каліброваних аналогових ланцюгів.

Для контролю тиску на тісто в бункері застосовуються мембранні давачі тиску на основі технології MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). MEMS-давачі вирізняються високою чутливістю, компактністю та інтегрованим компенсатором температурного дрейфу.

Для в'язких середовищ використовують давачі з плоскою діафрагмою, яка розташована врівень з внутрішньою поверхнею бункера. Це запобігає накопиченню продукту в порожнинах, що могло б спотворювати вимірювання та створювати санітарні ризики. Давачі мають уніфікований промисловий вихід 4-20 мА або цифровий інтерфейс, що гарантує високу заводо захищеність і легку інтеграцію з промисловим контролером.

Для досягнення мінімальної похибки вимірювання температури в умовах динамічного виробництва впроваджуються ряд методів калібрування та обробки даних. Висока точність досягається не лише завдяки використанню Pt1000, але й за рахунок програмно-апаратних методів.

Замість одноточкового калібрування, давач калібрується за декількома еталонними точками в робочому діапазоні тіста (18°C - 35°C). Це дозволяє мікроконтролеру використовувати інтерполяційні таблиці або поліноміальну корекцію (наприклад, рівняння Каллендара-Ван Дусена) для підвищення точності, виходячи за межі стандартної лінійної залежності.

Застосовуються алгоритми цифрової фільтрації, наприклад фільтр Калмана, для зниження високочастотного шуму, наведеного від промислового обладнання. Це особливо важливо для м'яких середовищ, наприклад тіста, де вимірювання може бути чутливим. Обов'язковим стандартом є використання 4-провідної схеми, що повністю виключає вплив опору дротів на вимірювання.

Для стабілізації показів давача тиску в бункері застосовуються наступні інженерні рішення: температурна корекція тиску; віброізоляція та демпфування; диференціальний контроль тиску

Хоча сучасні MEMS-давачі мають вбудовану компенсацію, тісто є саме термозалежним в'язким середовищем. Зміна температури тіста (виміряна Pt1000) безпосередньо впливає на його в'язкість і, відповідно, на тиск у бункері. Мікроконтролер виконує програмну корекцію показань тиску, використовуючи температуру як вхідну змінну, згідно з емпірично встановленою моделлю в'язкості.

Навіть у цифрових давачах вібрація, спричинена механізмами тісторозділювача, може впливати на покази. Впроваджується апаратне демпфування (наприклад, через гелеве заповнення корпусу давача) та програмне низькочастотне фільтрування для усунення високоамплітудних імпульсів, спричинених роботою поршнів.

Замість вимірювання абсолютного тиску, може використовуватись диференціальний контроль, тобто вимірювання різниці тисків у різних точках бункера. Це дозволяє більш точно оцінити напруження стиснення тіста і, відповідно, його готовність до поділу, виключаючи вплив атмосферного тиску.

На відміну від систем, що ґрунтуються лише на вимірюванні Т, Р і рівня, сучасний комплекс доповнюється якісним аналізом форми та структури заготовок.

Контроль якості перенесено у віртуальну площину шляхом встановлення високошвидкісних промислових камер високої роздільної здатності (Machine Vision Cameras) на виході тісторозділювача. Застосовується контрольоване світлодіодне освітлення (наприклад, кільцеве або коаксіальне) для мінімізації тіней та підкреслення текстури, що є важливим для виявлення дефектів. Усі дані з давачів та зображення обробляються високопродуктивним програмованим логічним контролером (ПЛК) або індустріальним ПК із підтримкою паралельних обчислень.

Ключовим елементом системи є програмний модуль, що використовує згорткові нейронні мережі (CNN) для прийняття рішення про відповідність заготовки. Мережа, навчена на тисячах еталонних та дефектних заготовках, здатна визначати не лише геометричні відхилення, але й якісні ознаки: неоднорідність структури, дефекти формування. Інтелектуальний контроль поєднує виміряні фізичні параметри (Т, Р) із візуальним аналізом. Якщо CNN-модель фіксує аномальну структуру, ініціюється відбракування та видається попередження.

Впровадження інтелектуальної системи мультимодального контролю, що базується на прецизійних цифрових RTD/MEMS-давачах та машинному зорі з глибоким навчанням, дозволяє підняти автоматизацію тісторозділювачів на новий якісний рівень. Це забезпечує:

- максимальну точність (ліквідацію похибок, притаманних аналоговим ланцюгам та компенсаційним схемам);
- гнучке відбракування (прийняття рішень на основі комплексних критеріїв, включаючи якісні візуальні характеристики);
- повну простежуваність (збір усіх параметрів у цифровій формі для детального аналізу та відповідності вимогам харчової безпеки, що є критичним елементом сучасного виробництва).

УДК 637.523

Т.М. Савулій, Т.М. Вітенько, д.т.н.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ АБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЛУЩІННЯ КРУП ЛУЩИЛЬНО-ШЛІФУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ А1-ЗШН-З

T.M. Savuliy, T.M. Vitenko, Prof.

APPLICATION OF ABRASIVE MATERIALS FOR GRAIN PULLING WITH A PULLING AND GRINDING MACHINE A1-ZShN-Z

Лушіння та шелушіння круп — це важливий технологічний процес у переробці зернових культур, який полягає у видаленні оболонки з зерна для отримання ядра. Для цієї мети в харчовій промисловості широко застосовуються різні абразивні матеріали, кожен з яких має свої особливості та переваги. Карборундові матеріали є одними з найпоширеніших абразивів у луцильно-шліфувальних машинах. Карборунд (карбід кремнію) відзначається високою твердістю та зносостійкістю, що дозволяє ефективно видаляти лушпиння з різних видів круп. Його використовують у вигляді циліндрів, дисків або накладок у луцильно-шліфувальних машинах [1], зокрема у машині марки А1-ЗШН-З. Особливо ефективний карборунд при обробці твердих зернових культур, таких як ячмінь та овес. Наждачні матеріали на основі корунду також знайшли широке застосування в технології лушіння. Вони забезпечують рівномірне зняття оболонки завдяки своїй зернистій структурі. Наждачні валики та диски різної зернистості підбираються залежно від виду зерна та бажаної ступеня обробки. Дрібнозерниста наждачна обробка застосовується на завершальних етапах для отримання гладкої поверхні крупи. Абразивні камені природного походження, такі як пісковик та граніт, традиційно використовувалися