

УДК [681.51+007.52]:[664.6:504.6(1)]

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Ю.М. КОРЕНЕЦЬ

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг

ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА ДЛЯ ТЕРИТОРІЙ З ТЕХНОГЕННИМ ТИСКОМ

Розроблено принципи проектування робототехнологічного комплексу з виробництва інноваційних сортів хліба для людей, що мешкають на території з техногенним тиском. Дано визначення робототехнологічного комплексу з кавітаційними інтенсифікаторами очищення води, дезінтеграції дріжджів, оптимального приготування опари та тіста. Наведено задачі оптимального планування технологічних операцій та визначено траєкторії управління виробництвом хліба з інтелектуальною системою підтримки прийняття управлінських рішень і діалогову систему управління портфелем замовлень. Побудовано модель технічного зору з системою трьохвимірних зображень апаратів й руху діжі. В багаторівневій системі управління робототехнологічним комплексом алгоритми оптимізації приготування опари, тіста й хліба базуються на нечіткій інформації опосередкованого виміру параметрів вологи, густини, сили борошна, температури тіста та його запаху. У системах керування вбудованими у процес робототехнологічними інтенсифікаторами, виконавчими механізмами руху діжі, вистоювання й розділення, випікання тістових заготовок використані нечіткі регулятори з системами фазифікації, нечіткого логічного висновку, дефазифікації та корекції.

Ключові слова: робототехнологічний комплекс, інтенсифікатори, кавітація, ультразвук, технічний зір, експертні системи, нечітке адаптивне керування

V.P. KHOROLSKYI, YU.M. KORENETS

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine

DESIGN OF ROBOTOTECHNOLOGICAL COMPLEX FOR BREAD MANUFACTURING FOR TECHNOLOGICAL TERRITORIES

Abstract. Developed design principles roboteknologi complex for the production of innovative varieties of bread for people living in areas with anthropogenic pressure. This definition roboteknologi complex with cavitation intensifiers water purification, disintegration of yeast, optimum cooking of the dough and dough. Given the problem of optimal planning of technological operations and defined trajectory control the production of bread with an intellectual system of support of managerial decision-making, and dialog management system portfolio. The model-based vision system with three-dimensional images of vehicles and the movement of the bowl. In a multilevel system of control roboteknologi complex optimization algorithms making dough, dough and bread based on fuzzy information indirect measurement of moisture, density, strength of flour, the dough temperature and its smell. In control systems embedded in the process roboteknologi complex intensifiers, actuators movement of the bowl, maturation and separation, baking dough pieces used fuzzy controllers with phasion systems, fuzzy logic, dephasefikation and correction.

Keywords: roboteknologi complex, intensifiers, cavitation, ultrasound, machine vision, expert systems, fuzzy adaptive control

Постановка задачі

Сучасний стан хлібопекарної галузі України тісно взаємопов'язаний з технічним рівнем технологічного обладнання. Одним із принципів створення високоякісної продукції для регіонів з високим рівнем забруднення навколишнього середовища є застосування у виробничому процесі роботизації та штучного інтелекту, які передбачають мінімізацією участі людини у виробничих процесах. Виробництво хлібобулочних виробів для людей, які мешкають на забруднених територіях, вимагає використання технологій очищення та активації води, оптимізації складу підсилюючих компонентів, покращувачів, збагачувачів, біологічно активних добавок тощо з метою виробництва хліба з інноваційними властивостями [1].

Підприємства з виробництва хлібопекарських виробів Дніпропетровської області за останні п'ять років накопичили значний досвід з розробки та впровадження новітнього обладнання щодо автоматизації технологічних процесів підготовки сировини, виробництва опари, тіста та випікання хлібобулочних виробів.

У європейській практиці виробництва хліба в останнє десятиріччя відмічається використання технологічного обладнання переважно таких відомих фірм: GOSTOL (Словенія), FRITSCH, DIOSNA, HARTMAN (ФРН), GLIMEK (Швеція), KONIG (Австрія). Обладнання цих марок на сьогодні має високий рівень автоматизації на базі SCADA-систем [2]. Таке обладнання розраховане на однорідну за якісними показниками сировину та додаткове використання підсилювачів.

У той же час виконання технологічних операцій хлібопекарського виробництва таких, як заміс тіста, бродіння опари, відстоювання тіста, бродіння тіста, розділ тіста на шматки, округлення шматків, формування тістових заготовок, випікання, охолодження та збереження хліба відносяться до складних динамічних процесів [3, 4]. В свою чергу показники якості хлібопекарських виробів залежать не лише від режимів протікання кожної технологічної операції, але й від компетенції технологів-операторів, рівня інформаційного, алгоритмічного та програмного забезпечення, інтелектуально-інформаційної підтримки прийняття рішень оператора або особи, що приймає рішення (ОПР).

Головну роль в цьому випадку буде відігравати рівень інтелектуалізації та роботизації обладнання, спеціального програмного забезпечення, яке використовує останні досягнення інформаційних та інженерних технологій. Отже питання проектування робототехнологічних комплексів з адаптивними системами управління інтенсифікаторами та керування складними процесами підготовки сировини до виробництва,

води, розчинів, опари, тіста, випікання хліба є пріоритетними при автоматизації хлібопекарського виробництва. При цьому впровадження працезберігаючих технологій є актуальними перспективними задачами щодо розвитку технологій виробництва продуктів харчування для територій з техногенним тиском та високим рівнем забруднення навколишнього середовища без втручання людини.

Аналіз досліджень та публікацій

Над проблемою розробки автоматизації та інтелектуалізації технологічних процесів хлібопекарського виробництва працювали вітчизняні вчені І.Е. Ельперін, В.В. Щербаченко, Л.А. Злобін, М.М. Благovesенська, В.Ю. Юрчак, Ю.В. Устинов, Є.Н. Півень, Г.В. Калениченко, В.Я. Черних, В.Д. Кишенько, С.С. Шаруда, С.М. Швед.

В роботах цих авторів розглянуті питання саме автоматизації, алгоритмізації процесів, регулювання приготування хліба та підвищення його якості, розробка моделей оцінки якості, технічних засобів вимірювання вологості, оптимізації відстоювання тістових заготовок, управління процесами приготування тіста та оптимізації процесів випікання хліба з використанням систем інтелектуального управління, розроблено моделі експертного оцінювання та прогнозування якості продукції й діагностики на базі нейронних систем [5, 6].

На думку авторів [1, 7, 8] традиційне управління сучасним процесом виробництвом хліба, як складним об'єктом із високим рівнем запізнення, та з урахуванням низьких хлібопекарських властивостей сировини – борошна, води, дріжджів – не дозволяє отримати задані лікувально-профілактичні характеристики продукції, спрямовані на людей, які мешкають на територіях із техногенним тиском.

Отже, впровадження робототехнологічних комплексів з інтенсифікаторами технологічних операцій кавітаційного типу обробки сировини (води, розсолів, інших інгредієнтів) вимагає додаткових досліджень впливу ультразвукових коливань на технологічне середовище.

Авторами [9, 10] доведено наступне: ультразвукова кавітація викликає підсилення перемішування рідини мікропотоками, які утворюються навколо бульбашок, що постійно коливаються. Таке перемішування особливо корисне в технологічному процесі виробництва хліба при збагаченні його вітамінами, мінеральними речовинами та йодом. Використовуючи процеси ультразвукового диспергування, можна підготувати суспензії (розчини солі, цукру, вітамінних компонентів), які матимуть значно вищі фізико-хімічні та смакові характеристики, але для цього під час проведення технологічних операцій слід дуже ретельно контролювати та управляти одночасно багатьма параметрами.

Для здійснення цього доцільно спроектувати робототехнологічний комплекс з багаторівневою системою автоматизованого управління технологічним процесом (АСТУП) виробництва хліба з сучасними інтелектуальними системами підтримки прийняття рішень (ІСППР). До складу робототехнологічного комплексу повинні входити системи ультразвукової кавітації очистки води, вбудовані в технологічну лінію виробництва хліба, системи дезінтеграції, перемішування та інтенсифікації мікробіологічних, біологічних, колоїдних, хімічних, гідродинамічних процесів виробництва хліба [10].

Такий інженерний підхід дозволить розробити інноваційні продукти з підвищеною харчовою та біологічною цінністю, тобто спроектувати обладнання для виробництва хліба з лікувально-профілактичними властивостями.

Формулювання цілей

Метою роботи є розробка проектних рішень щодо створення багаторівневого робототехнологічного комплексу з високим рівнем інтелектуалізації, комунікації та інформатизації технологічних операцій виробництва хліба з вбудованими в процес роботами-інтенсифікаторами.

Виклад основного матеріалу дослідження

Робототехнологічними інтелектуальними комплексами будемо називати автоматизовані системи з розвиненими сенсорними здібностями оцінки внутрішніх параметрів об'єкту керування та вихідних змінних сировини, води та інших інгредієнтів, в яких поліпшення характеристик продукції досягається за рахунок вбудованих у технологічний процес автоматизованих систем контролю, адаптивних систем управління та інтенсифікаторів процесів дозування, очищення, диспергування, приготування опари та тіста, вистоювання, випікання.

Основна задача робототехнологічного комплексу з інтелектуальною системою підтримки прийняття управлінських рішень (ІСППР) – забезпечити працездатність процесу виробництва хліба в умовах нечіткої інформації про характеристики обладнання, якість борошна, солі, цукру, олії та інших поліпшувачів продукції.

Основне завдання робототехнологічних інтенсифікаторів з ультразвуковими кавітаційними випромінювачами (РУЗК) реалізувати такі технологічні операції:

- водопідготовка (фільтрація, очищення, активація, іонізація тощо);
- приготування розчинів солі, цукру, олії, покращувачів і т. і.;
- диспергування рідких дріжджів, борошна та приготування опари;
- активація хлібопекарних дріжджів з використанням ультразвукових технологій (УЗТ) з метою покращення споживчих властивостей хліба;
- диспергування зерна з пророщеної пшениці та виготовлення хлібопродуктів функціонального

призначення для людей, які проживають на забруднених територіях;

- виготовлення тіста з використанням емульсій, у тому числі таких, які вміщують крохмально-білкові компоненти;
- збагачення тіста вітамінами, мінеральними речовинами, йодовміщуючими та біологічно активними добавками (БАД);
- диспергування в тісто мікрочастинок харчової сировини тваринного походження (м'яса, м'ясних субпродуктів, гідробіонтів) та рослинного походження (сої та соєвих компонентів) для виготовлення збагаченого протеїном хліба для дітей та людей з високим рівнем енерговитрат, важкими умовами праці (шахтарі, металурги, військовослужбовці тощо);
- виробництво стійкої та стабільної у зберіганні хлібобулочної продукції.

Робототехнологічний комплекс управління технологічними операціями приготування опари та тіста, вистоювання, випічки представлений такими задачами:

- планування траєкторії положення живильників;
- планування часу виготовлення опари, планування траєкторії руху діж;
- планування часу виготовлення тіста;
- планування часу подачі інгредієнтів;
- планування часу вистоювання;
- планування траєкторії випікання хліба із заданими інноваційними характеристиками;
- планування траєкторії виробництва сортів хліба, та виконання портфеля замовлення (оптимізація параметрів логістики).

Ці задачі траєкторного управління формують:

- експертна система (ЕС) інтелектуального управління;
- підсистема планування виробництва інноваційних сортів хліба;
- діалогова система управління портфеля замовлень, (ДСУПЗ);
- ІСППУР;
- адаптивні системи управління;
- ідентифікатор технологічного середовища.

Усі вищезазначені задачі траєкторного управління та підсистеми дозволять інженерам з інтелектуального управління підприємством спроектувати архітектуру робототехнологічного комплексу з використанням SCADA-систем, наведену на рисунку 1.

Архітектура комплексу включає такі елементи:

- МКП – монітор корпоративної продуктивності;
- АРМ – автоматизовані робочі місця: АРМ₁ – диспетчера хлібопідготовки, АРМ₂ – виробництва хліба, АРМ₃ – логістики;
- БК – блок корекції;
- НМ – нейромережу;
- СВ – систему візуалізації;
- Д₁-Д₁₄ – датчики змінних;
- GS – комунікаційну систему каналів зв'язку через інформаційну шину (ВШ);
- RTU – термінал, який обробляє інформацію з датчиків Д₁-Д₁₄;
- П₁-П₂, П₃-П₄, П₅-П₆ – систему п'єзо-датчиків ультразвукових сигналів із системами автоматизованого контролю САК₁ і САК₂;
- САК₃ – систему автоматизованого контролю параметрів води, розчинів, температури, вологи, потужності, витрат газу тощо.

Ідентифікатор технологічного середовища (ІТС) оцінює робочі характеристики обладнання та технологічні параметри борошна, дріжджів, води, початкові температури бродіння опари й тіста. Для опису динамічних процесів та ідентифікації технологічних змінних виробництва хліба в роботі використані закони масопереносу, Дальтона, Стокса [11]. Ароматичні властивості дифузії парів і вологи з поверхні опари та тіста можна ідентифікувати за допомогою датчика запаху TGS 2620.

При цьому системи ДСУПЗ, ІСППУР з блоками бази даних (БД), нейромережевими системами (НМ), блоками корекції (БК), системами інтерфейсів та автоматизованих робочих місць (АРМ₁, АРМ₂, АРМ₃) з монітором корпоративної продуктивності (МКП) значно підвищує керованість складного технологічного процесу виробництва хліба з інноваційними характеристиками.

Справа в тому, що ІСППУР та ДСУПЗ з технологіями імітаційного моделювання з базою прецедентів (БП) можна використати в процесі організації рішень щодо виробництва різних сортів хліба підвищеної харчової та біологічної цінності з лікувально-профілактичними характеристиками для дітей, гірників, металургів, військовослужбовців.

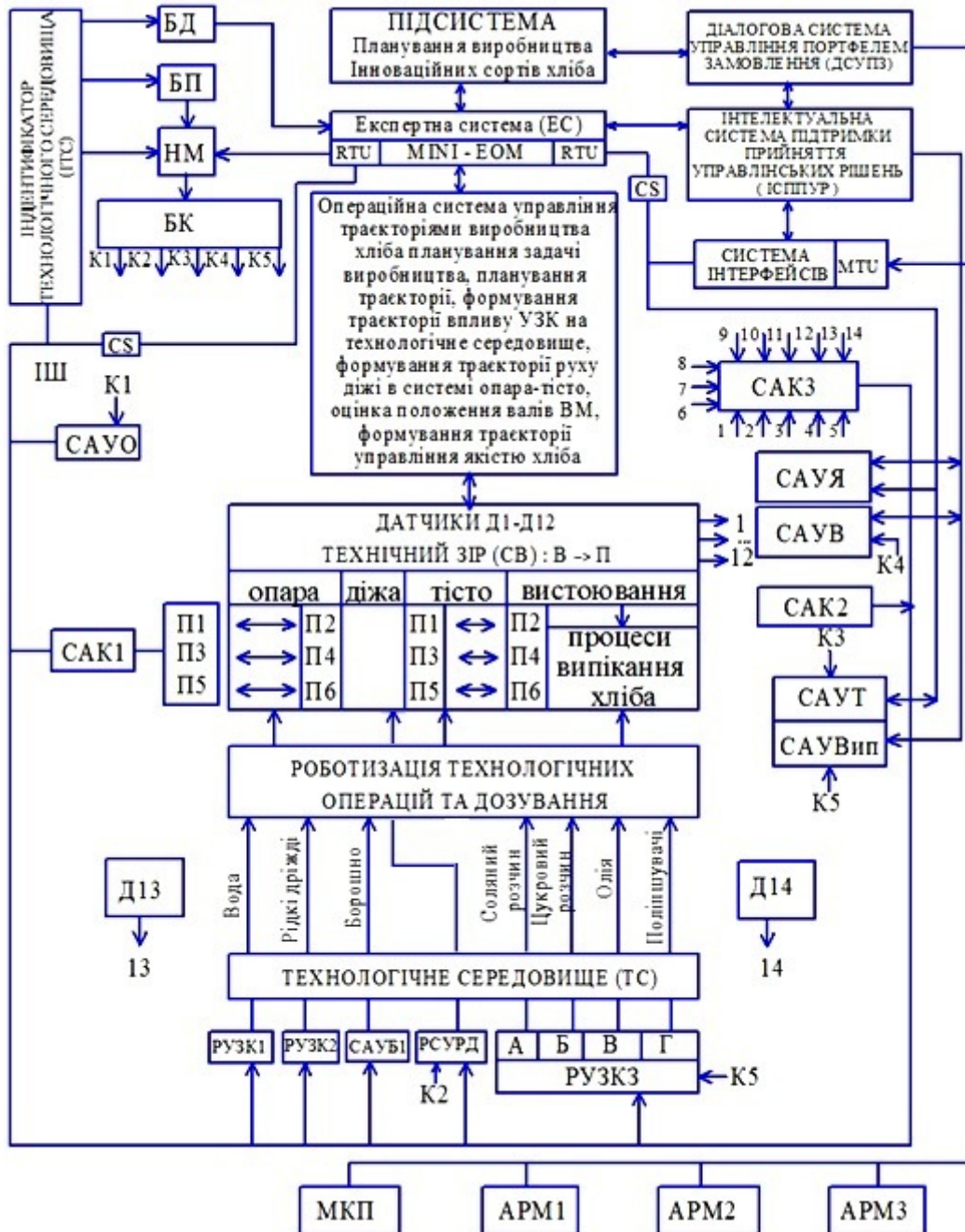


Рисунок 1. Архітектура роботехнологічного комплексу з виробництва хліба

Прецедент – це опис проблеми або ситуації в сукупності з детальною вказівкою дій персоналу та операторів або послідовність операцій щодо стабілізації параметрів борошна, води та інших компонентів, у тому числі поліпшувачів. У розробленій системі (рисунок 1) контроль параметрів очищеної води, борошна, газоутворюючої здатності борошна, густини рідких дріжджів, густини соляного та цукрового розчинів та інших компонентів, вологості опари, густини опари, температури тіста, вологості тіста, кислотності опари, підйомної сили тістової заготівки, тривалості вистоювання тістових заготівок, пористості тістових заготівок, температури в шафі вистоювання, маси тістових заготівок, температурних режимів роботи печі та витрат газу виконано за допомогою систем автоматичного контролю (САК): САК₁, САК₂, САК₃, та датчиків Д₁, Д₂, Д₃ ... Д₁₃, Д₁₄, системи візуалізації – системи технічного зору (СТЗ), ультразвукових датчиків контролю якості опари й тіста П₁-П₂; П₃-П₄; П₅-П₆.

В ІСППР прецедент включає: проблемну ситуацію (Sn), яка описує стан досліджуваного процесу, час виникнення прецеденту, рішення проблеми після виникнення проблемної ситуації. В цьому випадку рішення нетипових ситуацій і їх розпізнавання виконано з використанням апарату штучних нейронних мереж (НМ). В управлінні стадіями виробництва опара→тісто→діжа→вистоювання→випікання важливу роль відіграє система візуалізації (СВ) технічного зору робототехнологічного комплексу.

Зображення поверхні опари в діжі, тіста в тістомісильній машині, шматків тіста в момент t можна виразити через потрібний інтеграл Фур'є:

$$Q(x, y, t) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega_x, \omega_y, \omega) \exp[J(\omega_x x + \omega_y y + \omega t)] d\omega_x d\omega_y d\omega \quad (1)$$

де ω_x, ω_y – просторова кутова частота, яка зв’язана з довжиною хвилі λ_x, λ_y , а також числом періодів ϑ, ν на одиницю довжини у напрямку осі (x, y) співвідношеннями:

$$\omega \lambda_x = 2\pi u = \frac{2\pi}{\lambda_x}; \quad (2)$$

$$\omega_y = 2\pi v = 2\pi / \lambda_y; \quad (3)$$

ω – кутова частота;

$S(\omega_x, \omega_y, \omega)$ – безперервний просторово-частотний спектр зображення $Q(x, y, t)$:

$$S(\omega_x, \omega_y, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} Q(x, y, t) \exp[-J(\omega_x x + \omega_y y + \omega t)] dx dy dt \quad (4)$$

Зображення представлено у вигляді без кінцевої суми просторових гармонічних складових неперервного аргументу.

Нерухоме зображення діжі або тістомісильної машини не залежить від часу і є функцією координат на площині (x, y) . У результаті перетину потоку зображення діжі у будь-який момент t утворюється поле зображення, характеристики якого запишемо з аналогічно позначеними вище символами у вигляді:

$$Q(x, y) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega_x, \omega_y) \exp[J(\omega_x x + \omega_y y)] d\omega_x d\omega_y, \quad (5)$$

$$S(\omega_x, \omega_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} Q(x, y) \exp[-J(\omega_x x + \omega_y y)] dx dy \quad (6)$$

Вхідне зображення діжі є трьохмірною безперервною функцією координат (x, y, t) . Відеоінформація, що формується відеокамерами (B_1, B_2, B_3) і перетворювачами сигналу ($ПР_1, ПР_2, ПР_3$) та надходить до САК₃, може характеризуватися трьохмірною функцією $R(x, y, t)$.

У відповідності з цифровими методами передачі зображення виокремлюється система звітів, яка характеризується функцією розкладання $D(x, y, t)$.

Виразити функцію розкладання $R(x, y, t)$ та дискретизуючу функцію розвинення $D(x, y, t)$ можна за допомогою послідовних функцій Дирака $\delta(x, y, t)$ [11].

Сформована передавачем (Пр) відеоінформація $I(x, y, t)$ пов’язана з вхідним потоком зображення $D(x, y, t)$ відповідним співвідношенням:

$$I(x, y, t) = D(x, y, t) \times R(x, y, t) \quad (7)$$

або

$$I(x, y, t) = D(x, y, t) \times D(x, y, t) \quad (8)$$

У такій формі інформація відтворюється в блоці ПР₁ та САК₂ після оброблення й надходить до системи технічного зору, представленій на рисунку 2.

До складу технічного зору входять три відеокамери B_1, B_2, B_3 , які встановлені в трьох взаємоперпендикулярних площинах. Це дає можливість операторам ($АРМ_1, АРМ_2$) одержувати трьохвимірне зображення обладнання технологічної лінії з виробництва хліба.

Крім цього до інформаційної шини GS₁ підключено систему датчиків $D_1, D_2, \dots, D_{13}, D_{14}$ та положення виконавчих механізмів (ВМ) витрат води, розчинів солі, цукру, олії, положення діжі в просторі, діжі тістомісильної машини, камери вистоювання та камери випікання тунельної печі.

Для цих цілей також можна використовувати тактильні датчики LTS-300, які забезпечують отримання інформації в САК₃ про положення ВМ та діжі.

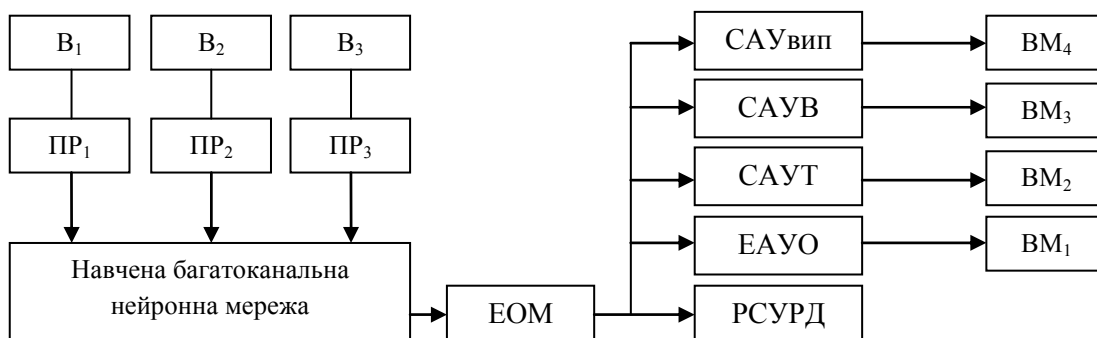


Рисунок 2. Система візуалізації (технічного зору) комплексу з виробництва хліба

Формування траєкторії переміщення діжі виконує робототехнологічна система управління руху діжі (РСУРД) за інформацією датчиків D_{14} , системи візуалізації (СВ) та датчика запаху TGS2620 (Tagushi Gas Sensor).

Діалогова система управління рухом діжі діє таким чином. Спочатку формується структура повідомлення, яка визначає синтаксис мовлення, вона представлена у вигляді стандартного фрейму: (< (1) назва операції >, < (2) об'єкт операції >, < (3) місце розташування обладнання >, < (4) образ дії >). В комплексі використовують репліку типу: (< (1) зверни >, < (2) праворуч >). Назва операції ініціалізує структуру фрейму відповідної операції. Крім цього розроблені словарі імен операцій, синонімів виду: «поставити», «розмістити», «перемістити», які дають змогу РСУРД вибрати оптимальну траєкторію руху.

Метою синтаксичного розбору є створення стандартних команд, тобто виконання слотів фрейму команди. Для цього побудовано діалогову систему виконання операцій переміщення діжі з готовою опарою. При цьому робототехнологічний комплекс з РСУРД має розширену сенсорну систему, яка реагує на запах опари та якість шматків хліба.

Для оцінки параметрів опари, тіста розроблена система автоматизованого контролю (САК₁) газоутворюючої здатності борошна, густини, вологості, кислотності опари. На рисунку 3 наведено схему трьохканального аналізатора параметрів опари/тіста.

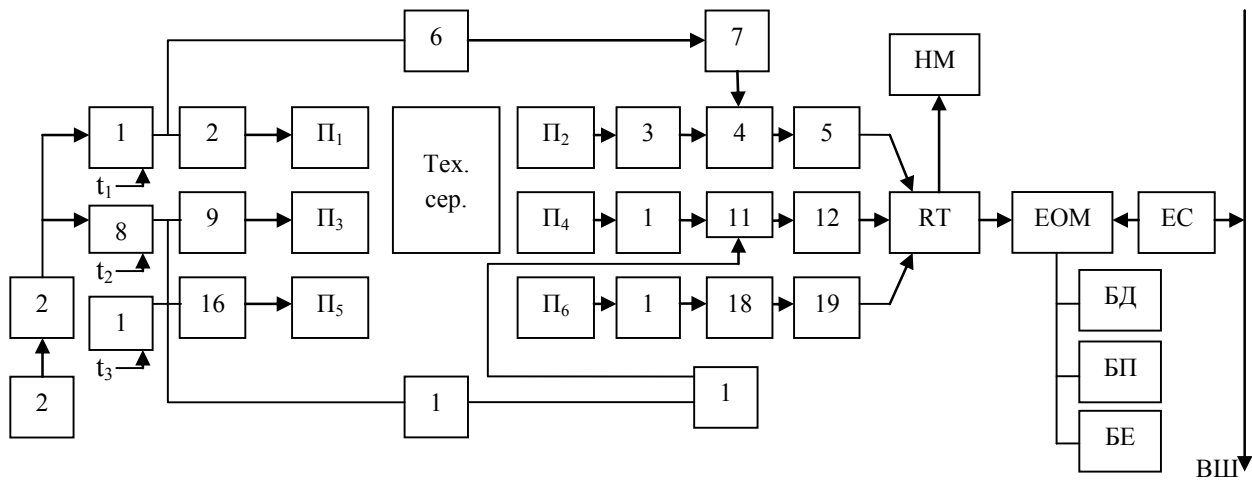


Рисунок 3. Трьохканальний аналізатор параметрів опари тіста

П₁ – випромінювач першого каналу, 1 – задавач генератора першого каналу, 2 – підсилювач потужності першого каналу, П₂ – приймач першого каналу, 3 – підсилювач першого каналу, 4 – селектор, 5 – логарифмічний перетворювач, 6 – лінія затримки, 7 – формувач часових інтервалів, 8 – задавач генератора другого каналу, 9 – підсилювач другого каналу, П₃ – випромінювач другого каналу, 10 – підсилювач, 11 – селектор, 12 – логарифмічний перетворювач, 13 – лінія затримки, 14 – формувач часових інтервалів, 15 – задавач генератора третього каналу, 16 – підсилювач третього каналу, 17 – підсилювач вихідного сигналу, 18 – селектор, 19 – логарифмічний перетворювач, 20 – комутатор, 21 – мультівібратор, t_1 – t_3 – час роботи задавачів генераторів першого, другого й третього каналів, БД – база даних, БП – база правил, БЕ – база еталонів.

З метою оцінки ефективності процесу диспергування дріжджів з борошном та обчислення вмісту твердих частинок δ середовища «рідина-тверді частинки» а також для визначення густини опари авторами статті запропоновано трьохканальну систему ультразвукового контролю цих параметрів. В системі контролю параметрів диспергування дріжджів використано: високу частоту f_1 , низьку частоту f_2 й частоту f_3 для оцінки концентрації газових бульбашок у середовищі опари/тісто.

Спочатку ЕОМ визначає $tg\beta_1$ – тангенс куту нахилу β_1 – логарифмічної амплітудно-частотної характеристики затухання ультразвукових коливань в підсистемі рідина-дріжджі-борошно-газові бульбашки.

$$tg\beta_1 = (\ln\alpha_1 - \ln\alpha_2 + tg\beta_2(\ln f_2 - \ln f_1)) / (\ln f_2 - \ln f_1), \quad (9)$$

де α_1 – коефіцієнт затухання ультразвукових коливань низької частоти f_2 в суспензії борошно-дріжджі;
 α_2 – коефіцієнт затухання ультразвукових коливань високої частоти f_1 суспензії борошно-дріжджі;
 β_1 – кут нахилу логарифмічної амплітудно-частотної характеристики затухання ультразвукових коливань в дегазованій (еталонній) рідині δ .

З вихідних перетворювачів П₂ та П₄ сигнали надходять до логарифмічних перетворювачів, за допомогою яких визначаються $\ln\alpha_1$ й $\ln\alpha_2$.

Після обчислення різниці цих величин ЕОМ, в БП, до якої занесені значення логарифмів частот, на яких виконується вимірювання затухання ультразвукових коливань в системі опари-тісто а також логарифмів коефіцієнтів затухання й логарифмів частот, на яких виконувались еталонні вимірювання, порівнює інформацію з базою еталонів (БЕ).

ЕОМ за значеннями затухання ультразвукових коливань в дегазованій рідині на визначених частотах будує логарифмічно-частотну характеристику затухання ультразвукових коливань в еталонній рідині, та визначає $tg\beta_2$.

Після чого ЕОМ виконує операцію множення (значення $tg\beta_2$ на різницю логарифмів частот f_1 й f_2). Після деяких операцій ЕОМ обчислює величину δ , яка опосередковано буде відповідати густині опари:

$$\delta = \ln a_1 - \ln a_2 \times K \operatorname{tg} \beta_1, \quad (10)$$

де K_1 – масштабуючий коефіцієнт.

Однорідність опари за її реологічними властивостями оцінює ЕС за інформацією датчиків Д₁-Д₁₄, П₁-П₂, П₃-П₄, П₅-П₆ та НМ. При цьому ЕОМ за допомогою блоку корекції та інформації з датчиків П₃-П₆ (третій канал аналізатора), адаптує характеристики впливу ультразвукових коливань (потужність, частота, час впливу) робототехнологічних інтенсифікаторів РУЗК₁, РУЗК₂, РУЗК₃ на технологічне середовище та системи адаптивного управління САУО, САУТ, САУВ, САУвип (блок корекції (БК) та чинники впливу К₁-К₅).

Системи адаптивного управління спроектовані на базі SCADA-систем SIMATIC STEP₇, в яких використані фазифікатор, дефазифікатор та блоки логічного виводу. Основи роботи таких систем детально розглянуто в монографії [12], а їх впровадження [2] в хлібопекарному виробництві дає достатньо високі результати щодо якості продукції.

Таким чином, в статті запропоновано інноваційний підхід щодо проектування робототехнологічного комплексу з виробництва хліба для споживачів, які мешкають на території з техногенним тиском. В запропонованих розробках робототехнологічні інтенсифікатори покращують якісні характеристики хліба за рахунок ультразвукових кавітаційних впливів на воду, розчини, олію, опару та тісто, а також на інші поліпшувачі продукції.

Розроблено підхід з використанням експертних систем, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, діалогової системи управління портфелем замовлень, нейромережевих систем оцінки якості, що в комплексі дозволяє гнучко реагувати на запити споживачів щодо екологічно безпечної продукції на територіях з високим рівнем забруднення навколишнього середовища.

Висновки

Обґрунтовано технологічну парадигму виробництва хліба з інтелектуальним управлінням й робототехнологічним комплексом підготовки борошна, води, дріжджів, опари та тіста, вистоювання та випікання хліба для людей, що мешкають на територіях, де має місце техногенне забруднення навколишнього середовища. Доведено, що для одержання високоякісної інноваційної продукції з лікувально-профілактичними характеристиками, необхідно корегувати параметри води, розчинів солі, цукру, олії та інших компонентів, використовуючи технології ультразвукової кавітації для інтенсифікації процесів й ультразвукового контролю параметрів густини опари та тіста, концентрації бульбашок та однорідності опари і тіста з метою управління якістю процесу.

Розроблено багаторівневу інтелектуальну систему управління робототехнологічним комплексом виробництва хліба, в якому планування траєкторії керування операціями виконують:

- експертна система;
- інтелектуальна система підтримки прийняття рішень;
- діалогова система управління портфелем замовлень;
- адаптивні системи управління стадіями підготовки опари, тіста, вистоювання та випікання

хліба, руху діжі та керування робототехнологічними інтенсифікаторами підготовки розчинів солі, цукру, олії та інших інгредієнтів, у тому числі лікувально-профілактичного призначення.

Таким чином, нейромережева система оцінки якості виробництва хліба за стадіями й робототехнологічні інтенсифікатори з ультразвуковими кавітаційним впливом та комплексними системами візуалізації процесу виробництва дозволять виробляти хлібобулочну продукцію з підвищеною харчовою та біологічною цінністю на більш високому рівні, ніж існуючі традиційні системи.

Література

1. Возняк А.В. Робототехнологічні комплекси в процесах виробництва хліба для регіонів с техногенним тиском / А.В. Возняк, Ю.М. Коренець, В.П. Хорольський // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності : друга міжнародна науково-практична конференція, 5-7 вересня 2017 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. Г. В. Дейниченка. – Харків : ХДУХТ, 2017. – С. 32-33.
2. Федотова Т. В. Підвищення конкурентоспроможності підприємств хлібопекарської галузі : дис. ... канд. екон. наук / Т. В. Федорова. – Житомир, 2015. – 204 с.
3. Хорольський В. П. Інтелектуальна система управління та моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів / В. П. Хорольський, Д. Ю. Ключев, С. М. Коржов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2016 – №6 – С.55-62.
4. Остриков А. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / [А. Н. Остриков, О. В. Абрамов, А. В. Логинов и др.]; под ред. А. Н. Острикова. – СПб. : ГИОРД, 2012. – 616 с.
5. Хроменков В. М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик / В. М. Хроменков. – СПб. : ГИОРД, 2014 – 496 с.
6. Шаруда С. С. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом / С. С. Шаруда, В. Д. Кишенько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. - №5/3 (47). – С. 66-70.

7. Асенова Б. К. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов / Б. К. Асенова, К. Ж. Амирханов, М. Б. Ребезов // Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-производства. 2013 – №1 – С. 313-316.
8. Пташек М. Цифровое телевиденье. Теория и техника | пер. с чешск. под. ред.. Л.С. Виленчика. – М: Радио и связь, 1990-528с.
9. Капустин С. В. Применение ультразвуковой кавитации в пищевой промышленности / С. В. Капустин, О. Н. Красуля // Интерактивная наука. – 2016 – №2 – С. 101-103.
10. Шестаков С. Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции / С. Д. Шестаков. – СПб : Нева-Пресс, 2001, 173 с.
11. Лайцянский Л.Г., Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1970. – Изд. 3-е, перерат. и дополн. – 904 с.
12. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / [В. П. Хорольський, В. Б. Хоцькіна, Т. В. Хорольська, Є. К. Бабець] ; за. наук. ред. В. П. Хорольського. – Дніпропетровськ: «Січ», 2008. – 443 с.

References

1. Voznjak A.V. Robotehnologichni kompleksi v procesah virobniactva hliba dlja regioniv s tehnogennim tiskom / A.V. Voznjak, Ju.M. Korenec', V.P. Horol's'kij // Innovacijni aspekti rozvitku obladnannja harchovoї i gotel'noї industriї v umovah suchasnosti : druga mizhnarodna naukovo-praktična konferencija, 5-7 veresnja 2017 r. : [materiali konferencij] / pid zag. red. G. V. Dejnichenka. – Harkiv : HDUHT, 2017. – S. 32-33.
2. Fedotova T. V. Pidvishhennja konkurentospromozhnosti pidpriemstv hlibopekars'koї galuzi : dis. ... kand. ekon. nauk / T. V. Fedorova. – Zhitomir, 2015. – 204 s.
3. Horol's'kij V. P. Intelektual'na sistema upravlinnja ta monitoringu robochih charakteristik tehnologichnogo obladnannja hlibobulochnih zavodiv / V. P. Horol's'kij, D. Ju. Kljuev, S. M. Korzhov // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. 2016 – №6 – S.55-62.
4. Ostrikov A. N. Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv / [A. N. Ostrikov, O. V. Abramov, A. V. Loginov i dr.] ; pod red. A. N. Ostrikova. – SPb. : GIOR, 2012. – 616 s.
5. Hromenkov V. M. Tehnologicheskoe oborudovanie hlebozavodov i makaronnyh fabrik / V. M. Hromenkov. – SPb. : GIOR, 2014 – 496 s.
6. Sharuda S. S. Intelektual'na sistema scenarnogo upravlinnja hlibopekars'kim virobniactvom / S. S. Sharuda, V. D. Kishen'ko // Shidno-Evrops'kij zhurnalпередовih tehnologij. – 2010. - №5/3 (47). – S. 66-70.
7. Asenova B. K. Tehnologija proizvodstva funkcional'nyh produktov pitaniya dlja jekologicheski neblagoprijatnyh regionov / B. K. Asenova, K. Zh. Amirhanov, M. B. Rebezov // Torgovo-jekonomicheskie problemy regional'nogo biznes-proizvodstva. 2013 – №1 – S. 313-316.
8. Ptashkek M. Cifrovoe televiden'e. Teorija i tehnika | per. s cheshsk. pod. red.. L.S. Vilenchika. – M: Radio i svijaz', 1990-528s.
9. Kapustin S. V. Primenenie ul'trazvukovoj kavitacii v pishhevoj promyshlennosti / S. V. Kapustin, O. N. Krasulja // Interaktivnaja nauka. – 2016 – №2 – S. 101-103.
10. Shestakov S. D. Osnovy tehnologii kavitacionnoj dezintegracii / S. D. Shestakov. – SPb : Neva-Press, 2001, 173 s.
11. Lajcanskij L.G., Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1970. – Изд. 3-е, перерат. и дополн. – 904 с.
12. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / [V. P. Horol's'kij, V. B. Hockina, T. V. Horol's'ka, Є. К. Babec'] ; за. наук. ред. V. P. Horol's'kogo. – Dnipropetrovs'k: «Sich», 2008. – 443 s.

Рецензія/Peer review : 29.11.2017 р.

Надрукована/Printed : 10.02.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О.С. Зеленський