

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -40-1-66-79

УДК 664.6/.7: (681.51+005.52) (045)

Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор¹

Коренець Ю. М., старший викладач¹

Копайгора О. К., асистент¹

Ткач М. С., магістр¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ФАБРИКА З ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

UDC 664.6/.7: (681.51+005.52) (045)

*Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering sciences,
Professor¹*

Korenets Yu. M., Senior Lecturer¹

Kopayhora O. K., assistant Professor¹

Tkach M. S., Master¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

INTELLECTUAL FACTORY FOR BAKERY PRODUCTION

Мета — удосконалення конструкції технологічного обладнання для виробництва хлібобулочної продукції за рахунок використання інтелектуальних систем управління виробництвом. Означена мета конкретизується у таких завданнях, як проведення аналізу існуючого обладнання для виробництва хлібобулочних виробів, обґрунтування вибору обладнання хлібозаводу з огляду на мінімізацію шкідливого впливу на навколишнє середовище, дослідження теоретичних основ побудови інтелектуальних систем управління хлібозаводом та розробка інтелектуальної системи управління процесами у виробництві хлібобулочної продукції.

Методи. Методи дослідження базуються на теоретичному та експериментальному визначенні робочих характеристик системи «опара → тісто → випікання» в умовах впливу кавітаційних процесів.

Результати. Розроблено інтелектуальну систему автоматизованого управління виробництвом хлібобулочної продукції, у якій аналіз збурень сировини, води та обладнання виконано за допомогою системи моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання. Побудова адаптивних систем керування дозволяє синтезувати нечіткі регулятори для елементарних операцій технологічних процесів виробництва хліба з урахуванням нелінійності об'єкта керування. Відпрацювання еталонного завдання в умовах невизначеності зовнішніх і внутрішніх збурень, які не контролюються датчиками, може бути оцінено експертною системою формування законів керування технологічним процесом виробництва хліба. Врахування знань і навичок операційного персоналу в експертній системі управління з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання та якості сировини, у тому числі води, дозволяє побудувати робастні інтелектуальні системи управління хлібозаводом з оптимізацією його параметрів продуктивності та мінімізацією питомих енерговитрат.

Ключові слова: хліб, опара, тісто, випікання, інтелектуальна система управління, кавітація, теплові процеси, роторна піч.

Постановка проблеми. Сучасний стан хлібопекарської галузі в Україні характеризується пропозицією значного асортименту хлібобулочної продукції з надійним її поста-

Надійшла до редакції 02.04.2019 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,
О. К. Копайгора, М. С. Ткач, 2020

чанням. В умовах масштабного та масового виробництва харчову безпеку та відповідність системі НАССР можна забезпечити за рахунок упровадження новітніх систем інтелектуального управління виробничими процесами з використанням робототехніки та впровадженням технологій штучного інтелекту [1].

Незважаючи на те, що сьогодні розповсюджені впровадження інноваційного обладнання хлібопекарень, інтелектуалізація процесів виробництва хлібобулочних виробів, на наш погляд, не достатньо вивченими залишаються такі питання, як:

- цифровізація виробничих процесів;
- управління життєвим циклом продукції з лікувально-профілактичними властивостями;
- розроблення алгоритмів управління інтелектуальним виробничим процесом з випікання хліба для територіях з техногенним тиском і перевищеним рівнем CO₂ [2].

Це пояснюється, зокрема, відсутністю надійних проектних рішень щодо розроблення технологічного обладнання з робототехнічними пристроями в системі «опара → тісто → випікання», що підтверджує необхідність їх детального вивчення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій вітчизняних учених Л. Я. Ауермана, Л. А. Злобіна, А. В. Соколова, А. Т. Лисовенка, В. Г. Мирончука, С. С. Шаруди, Т. В. Гавриша свідчить про недостатньо розглянуті питання комп'ютерного моделювання процесу випікання хліба та робочих характеристик операційної системи «опара → тісто → випікання».

Викладене вище зумовлює актуальність обраної теми дослідження, спрямованого на розроблення технологій та обладнання з цифровим управлінням виробництвом хлібобулочних виробів у системі інтелектуальної фабрики з виробництва хлібобулочних виробів.

Мета статті — удосконалення конструкції технологічного обладнання для виробництва хлібобулочної продукції за рахунок використання інтелектуальних систем управління та ультразвукових технологій.

Означена мета конкретизується у таких завданнях:

- проведення аналізу існуючого обладнання для виробництва хлібобулочних виробів;
- обґрунтування вибору обладнання хлібозаводу з огляду на мінімізацію шкідливого впливу на навколишнє середовище;
- дослідження теоретичних основ побудови інтелектуальних систем управління хлібозаводом;
- розроблення інтелектуальної системи управління процесами контролю якості інгредієнтів, виробництва опари, тіста та випікання хліба, у тому числі цифрової адаптивної системи управління роторною піччю.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні ринок обладнання для хлібозаводів формується в єдиному інформаційному полі з ринком хлібобулочних виробів та ринками інших галузей: харчової промисловості з подібними технологічними процесами, металургії та металообробки, машинобудування, хімічної промисловості, цифрових технологій та засобів зв'язку. Також на ринок хлібопекарського обладнання значною мірою впливає мережа проміжних та кінцевих споживачів хлібобулочної продукції [3].

Структура ринку визначається стадіями технологічного процесу виробництва хліба за асортиментними групами та їх розподілом між суб'єктами ринку хлібобулочних виробів різного рівня.

Основними характеристиками ринку хлібопекарського обладнання є:

1. Складність інформаційного поля, що допускає величезну кількість взаємодій з іншими галузевими кластерами. Але це сприяє розвитку бізнесу за рахунок трансферу технологій із суміжних сфер знань та створює умови розвитку виробництва безпечних продуктів харчування для промислових регіонів з техногенним навантаженням. Це зумовлено значною кількістю технологічних процесів, що використовуються у виробництві хлібобулочних виробів (транспортування рідких і сипучих компонентів, гомогенізація сумішей, ферментація під час приготування тіста, формування тістових заготовок, випікання та довипікання, нарізання, охолодження та заморожування, пакування, первинне та

вторинне транспортування напівфабрикатів та готової продукції, завантажувально-розвантажувальні операції тощо).

2. Ринок має інтернаціональний характер. Деякі українські хлібозаводи побудовані за участю фахівців з Німеччини, Італії, Франції, США. Компанії цих країн забезпечують продаж та постачання технологічного обладнання з подальшим технічним обслуговуванням, навчання персоналу, інформаційно-роз'яснювальну роботу серед споживачів тощо. Така кооперація дозволяє значно знизити ризики, пов'язані з наявністю на ринку великої кількості конкурентів, а також залежністю виробників хліба від постачальників борошна, питної води, інших інгредієнтів, енергоносіїв та з обслуговуванням обладнання.

3. Суттєвий вплив на ринок здійснює динамічний характер розвитку галузі та зміни попиту населення, розширення асортименту та зростання показників якості хлібобулочних виробів, залежність від зовнішньоекономічних показників, які впливають на купівельну спроможність.

Порівняльний аналіз рівня світового обладнання та обладнання, яким оснащені хлібозаводи України, показав, що українські машинобудівники потребують державної підтримки щодо розроблення інтелектуальних заводів з виробництва хліба. У першу чергу це пов'язано з недостатньою підтримкою дослідницько-конструкторських робіт, які потребують значних витрат. Проте їх виконання пов'язане з ризиками в умовах невизначеності щодо одержання обладнання світового рівня.

Створення інтелектуальних підприємств сьогодні є одним із головних світових трендів, який значною мірою стимулюється швидким зростанням кількості інформаційних ресурсів та послуг, які надаються у сфері інтернету речей (або англійською «Internet of Things», скорочено — IoT). IoT — це концепція комунікації об'єктів («речей»), які використовують технології для взаємодії між собою та з навколишнім середовищем. Також ця концепція передбачає виконання пристроями певних дій без втручання людини. Таким чином, усі пристрої в будинках, в автомобілях, на користувачах виконують оброблення інформації, її аналіз та обмін між собою та, залежно від результатів, приймають рішення і виконують певні дії [4].

На сьогодні висока конкуренція на товарних ринках стимулює підприємства до об'єднання з метою виживання. Віртуальне підприємство можна визначити як кооперацію юридично незалежних організацій та індивідуумів, які виконують певні технологічні процеси, виробляють продукцію та надають послуги в межах загального бізнес-процесу. У зовнішньому світі віртуальне підприємство виступає як єдина організація, у якій використовуються методи управління і адміністрування, основані на використанні сучасних Інтернет-технологій, цифрової економіки та інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ).

Отже, метою створення віртуального підприємства є об'єднання виробничих, технологічних, інтелектуальних та інвестиційних ресурсів для розроблення і просування на ринок нових товарів і послуг. Оскільки кожне реальне підприємство в рамках віртуального виконує лише частину робіт із загального технологічного ланцюга, то під час його створення вирішуються два головних завдання:

- декомпозиція загального бізнес-процесу на компоненти (підпроцеси);
- вибір раціонального складу реальних підприємств-партнерів, які будуть виконувати технологічний процес.

Перше завдання може бути вирішено з використанням методів системного аналізу. Для розв'язання другого можуть бути використані засоби мультіагентних технологій.

Завдання оптимального розподілу загального комплексу робіт (підпроцесів) серед багатьох співробітників (підприємств) у дослідженні операцій формується як завдання про призначення [5]. Його вирішення розпочинається з формування множини процесів, далі здійснюється вибір найбільш раціонального відображення, яке відповідає конкретним призначенням підприємств щодо бізнес-процесів. З цією метою використовуємо механізм аукціону.

На рис. 1 подано схему аукціону щодо створення інтелектуального підприємства, у якому виділено бізнес-процеси *A*, *B*, *C*, *D*, *E*. У реалізації цих бізнес-процесів беруть участь чотири технологічні лінії (підприємства) з виробництва хлібобулочних виробів:

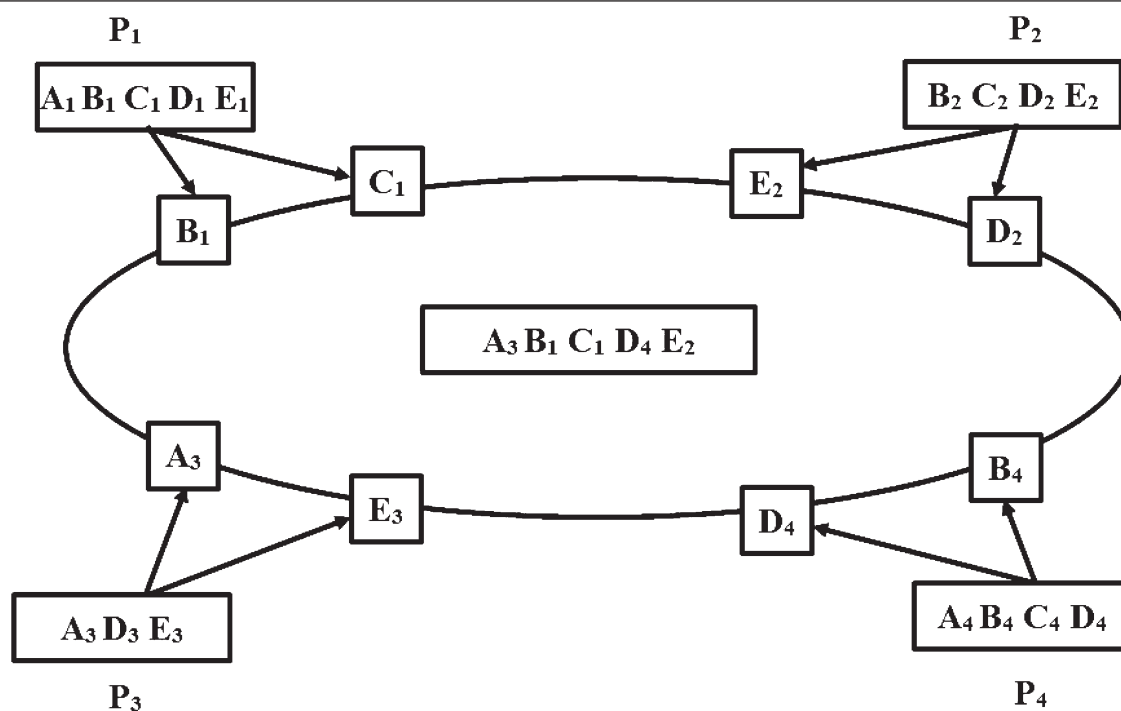


Рисунок 1 — Схема створення інтелектуального підприємства

P_1, P_2, P_3, P_4 , які претендують на їх реалізацію. Кожне підприємство представлене інтелектуальним агентом, при цьому одне з них (P_1) виступає в ролі ініціатора (аукціонера). Перед початком аукціону аукціонер (менеджер) формує базу даних і базу знань про учасників аукціону. Потім він виставляє на продаж окремі бізнес-процеси, інформація про які представлена стартовою ціною та вимогами щодо заданого вибору показників. Кожен із претендентів представляє власні пропозиції щодо параметрів, які він може забезпечити та вартості роботи. Після збору та обробки інформації щодо пропозицій аукціонер за допомогою певної моделі роздумів упорядковує потенціальних претендентів з урахуванням власної інформації про них. Після цього він приймає рішення про вибір призначень або відкидає їх і висуває нові пропозиції.

Пояснимо роботу інтелектуального підприємства за допомогою такої моделі:

$$(S, P, Eff, A, Prog, Arch, G, E), \quad (1)$$

де S (sensor) — множина входів, за допомогою яких агент аналізує інформацію із зовнішнього середовища; P (perceps) — інформація, яку одержує агент; Eff (effectors) — множина виходів, за допомогою яких впливає на зовнішнє середовище; A (actions) — реакція агента; $Prog$ (program) — функція, яка визначає залежність реакції агента від вхідних впливів ($Prog: P \rightarrow A$); $Arch$ (architecture) — фізична оболонка, яка об'єднує всі базові елементи агента; G (goal) — цілі, які досягаються агентом; E (environment) — зовнішнє середовище, у якому функціонує агент.

Базова конструкція агента визначається такими характеристиками, як $S, Prog, Eff, Arch$, а його змістовне наповнення забезпечується чинниками P, A, G .

З метою виконання моніторингу робочих характеристик екологічно чистого хліба введемо поняття програмних агентів — спеціалізованих комп'ютерних програм, призначених для виконання певних функцій у системі інтелектуального управління фабрикою з виробництва хлібобулочних виробів.

Для створення інтелектуальної фабрики з виробництва хлібобулочних виробів необхідно побудувати систему моніторингу роботи її ділянок: підготовки інгредієнтів, просіювання (борошна); приготування опари; приготування тіста; процесу випікання хліба в роторних печах; логістики і взаємодії зі споживачами (магазинами, торговими посередниками, закладами ресторанного господарства тощо). Моніторинг здійснюється в режимі реального часу (on-line) за допомогою IoT.

За концептуальну основу моделі системи аналізу характеристик обладнання та технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів було обрано нейромережу прямого розповсюдження інформації. Вона складається з вхідного, вихідного та одного або декількох проміжних шарів нейронів.

Вихід нейрона в шарі $n + 1$ визначається відношенням:

$$y_j^{n+1} = f(S_j^{n+1}), \quad (2)$$

де $n+1$ — номер шару; j — індекс нейрона в шарі $n+1$ ($j = 1, N_{n+1}$), N_{n+1} — кількість нейронів в шарі $n+1$; f — активаційна функція шару $n+1$ (у нашому випадку будемо використовувати сигмоїдальну активаційну функцію $f(x) = 1/(1 + e^{-\alpha x})$), а для вихідного шару — лінійну $f(x) = \alpha x$; y_j^{n+1} — вихід j -го нейрона шару $n+1$; S_j^{n+1} — постсинаптичний потенціал j -го нейрона шару, який обчислюється за формулою:

$$S_j^{n+1} = \sum_{k=1}^{N_n} W_k^{n+1} y_k^n + b_j^{n+1};$$

$$S^{n+1} = W^{n+1} \tilde{y}^n, \quad (3)$$

де W_k^{n+1} — вагові коефіцієнти зв'язку K -го нейрона шару n із j -м нейроном шару $n+1$; y_k^n — вихід K -го нейрона шару n ; \tilde{y}^n — розширений вектор з урахуванням порога (bias-нейрона); b_j^{n+1} — bias-нейрон j -го нейрона шару $n+1$.

Основними завданнями моніторингу є регулярне отримання інформації про властивості борошна, опари, тіста та стан технологічного обладнання під час використання в режимі реального часу.

Інтелектуальні системи відрізняються спроможністю вирішувати завдання, що важко піддаються формалізації та структуризованню. Це зумовлено використанням різних методів моделювання міркувань із метою оброблення символічної інформації.

Зазвичай механізми міркувань будуються на правилах (Rule-based reasoning (RBR)), що використовуються в експертних системах продукційного та логічного типів [6]. За такого підходу необхідно, передусім, сформулювати максимально повний набір закономірностей, що характеризують предметну галузь.

Може бути застосований і альтернативний підхід case-based reasoning (CBR), концепція якого полягає у навчанні за прикладами. У цьому випадку під час проектування інтелектуальної фабрики з виробництва хлібобулочних виробів не обов'язково заздалегідь володіти інформацією про усі закономірності такого виробництва, проте потрібно мати достатню кількість прикладів, щоб певним чином налаштувати адаптивну систему управління виробничим процесом. Тобто така система підлягає попередньому навчанню. Потім вона вже самостійно зможе одержувати необхідні результати з визначеним ступенем достовірності.

Як адаптивні системи управління роторною піччю використовують штучні нейронні мережі (ШНМ). Розглянемо їх принцип дії більш детально [7, 8].

Штучні нейронні мережі — це спрощені моделі біологічних нейронних мереж. ШНМ складаються зі штучних нейронів, які являють собою спрощену модель біологічного нейрона. Усе, що робить штучний нейрон — це сприймає сигнали з багатьох входів, обробляє їх єдиним чином та передає результат на багато інших штучних нейронів, тобто робить те саме, що і біологічний нейрон.

Біологічні нейрони пов'язані між собою аксонами, місця стиків називаються синапсами. У синапсах відбувається посилення або ослаблення електрохімічного сигналу. Зв'язки між штучними нейронами називаються синаптичними, або просто синапсами.

Кожен синапс характеризується одним параметром — ваговим коефіцієнтом, залежно від його значення відбувається та чи інша зміна інформації, під час її передавання від одного нейрона до іншого. Саме завдяки цьому вхідна інформація обробляється і перетворюється в результат, а навчання нейронної мережі засноване на експериментальному підборі такого вагового коефіцієнта для кожного синапсу, який і приводить до отримання необхідного результату.

Таким чином, штучний нейрон є дискретно-безперервним перетворювачем інформації. Інформація, яка надходить на вхід нейрона, додається з обліком вагових коефіцієнтів W_i сигналів x_i , $i=1, \dots, n$, де n — розмірність простору вхідних сигналів.

Потенціал нейрона визначається за формулою:

$$P = \sum_{i=1}^n W_i x_i. \quad (4)$$

Зважена сума сигналів (потенціал), що надходять, перетворюються за допомогою передатних функцій $f(p)$ у вихідний сигнал нейрона Y , який передається іншим нейронам мережі, тобто $Y=f(p)$. Вигляд передатної (активаційної) функції є важливою характеристикою нейрона. У загальному вигляді ця функція може бути граничною, лінійною або нелінійною.

Гранична функція пропускає інформацію лише у тому випадку, якщо алгебрична сума вхідних сигналів перевищує деяку сталу величину P^* , наприклад:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{якщо } P \geq P^*; \\ 0, & \text{якщо } P < P^*. \end{cases} \quad (5)$$

У системах, основаних на прецедентах, бази знань (БЗ) зберігають опис конкретних ситуацій (прецеденти). Пошук рішень виконується на основі аналогій і включає такі етапи:

- 1) одержання інформації про поточну проблему;
- 2) зіставлення одержаної інформації зі значеннями ознак прецедентів із БЗ;
- 3) вибір прецеденту із БЗ, найбільш близького до проблеми, що вивчається;
- 4) адаптація обраного прецеденту до поточної проблеми;
- 5) перевірка коректності кожного отриманого рішення;
- 6) внесення детальної інформації про одержання рішення до БЗ.

Прецеденти описуються множиною ознак, за якими будуються індекси швидкого пошуку. Проте у низці систем, заснованих на конкретних випадках, на відміну від індуктивних систем, нечіткий пошук дозволяє отримати багато прийнятних альтернатив, кожна з яких оцінюється певним коефіцієнтом достовірності. Найбільш ефективними вважаємо рішення, адаптовані до реальних ситуацій, побудовані з використанням спеціальних алгоритмів.

Системи, засновані на конкретних випадках, використовуються для поширення знань у системах контекстної допомоги.

Сховище даних — це інтегрований, узгоджений за часом та орієнтований на домен збір даних, що можуть бути використані у процесах прийняття рішень [8]. Інформаційні сховища відрізняються від інтелектуальних баз даних тим, що вони є сховищами значущої інформації, яка регулярно отримується з оперативних баз даних.

Орієнтація на об'єкт означає, що дані згруповані за категоріями та зберігаються відповідно до ділянок (галузей), які вони описують, а не додатків, які їх використовують.

У сховищі дані інтегруються для того, щоб задовольнити вимоги не окремих функцій бізнесу, а компанії загалом.

Прив'язка даних до часу означає, що атрибут часу завжди чітко означений у структурі сховищ даних та зумовлює їх «історичність».

Інваріантність означає, що дані, які знаходяться в структурах зберігання, більше не змінюються на відміну від операційних систем, де дані присутні тільки в останній версії і, отже, постійно змінюються.

Технології вилучення знань зі сховищ даних засновані на методах статистичного аналізу і моделювання, орієнтованих на пошук моделей і зв'язків, які приховані в наборі даних.

Такі моделі можуть надалі використовуватися для оптимізації діяльності компаній.

Для отримання значущої інформації зі сховищ даних користуються спеціальними методами аналізу: OLAP, Data Mining або Knowledge Discovery. Вони засновані на використанні нейромереж, методів математичної статистики та індуктивних методів для побудови дерев рішень тощо.

Спроекуємо архітектуру системи інтелектуального управління виробництвом хлібо-булочної продукції для територій Дніпропетровської області, яка відрізняється значним техногенним навантаженням.

Основу системи моніторингу складає чотирипроцесорний сервер на базі мікропроцесора (МП) Itanium 2 та чипсета HPzx1 (рис. 2).

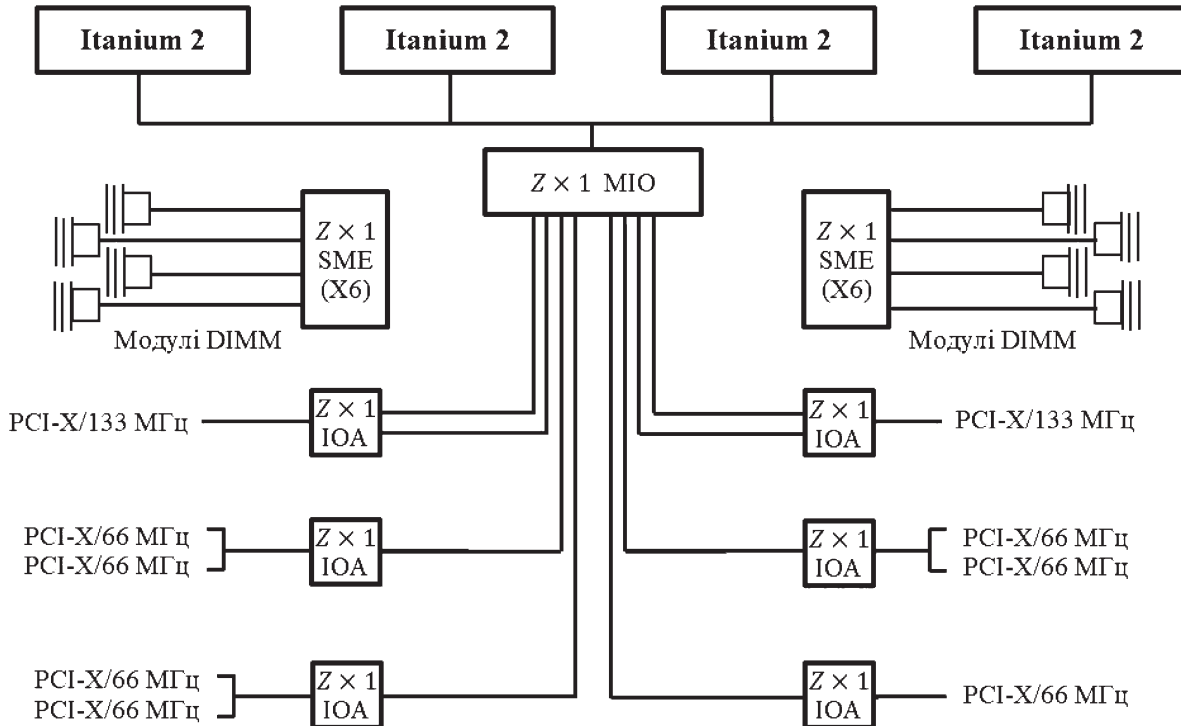


Рисунок 2 — Структурна схема чотирипроцесорного сервера на базі МП Itanium2 та чипсета HPzx1

До структури також входять такі агенти:

A1 — інкапсулює інтерактивну модель користувачів АРМ1, АРМ2 (відповідно ділянки підготовки борошна та інших інгредієнтів системи «опара→тісто→випікання»), працює в реальному масштабі часу (on-line user agent);

A2 — інкапсулює сеансову модель користувачів АРМ1, АРМ2, працює в автономному режимі (off-line user agent);

A3 — контролер (Controler Agent), керує роботою АРМ1, АРМ2, АРМ3.

В архітектурі інтелектуальної системи управління виробництвом ІСУВ на вході розміщується база даних (Data Base), що містить інформацію стосовно існуючих моделей.

Агент А1 призначений для визначення аномальних режимів роботи обладнання хлібозаводу шляхом оцінки: G — аномальних ситуацій; P — послідовності команд; A — прогнозування розвитку ситуації в системі підготовки сировини (борошна) до виготовлення опари та тіста.

Prog: P → A — збір даних про стан та робочу діяльність обладнання та оператора, прогнозування якості борошна, стану опари-тіста і готовності тіста до операції випікання та прогнозування команд із використанням нейромережі (рис. 2).

Агент А2 оцінює роботу оператора в он-лайн режимі з інтервалом часу 0,1 шляхом визначення відхилень робочих характеристик обладнання від норми.

Агент А3 — контролер, який відповідає за функціонування процесу виробництва хліба в цілому і керує роботою інших агентів.

У поданій моделі Prog: P → A відповідає за створення різних типів агентів, отримання інформації з бази даних параметрів моделі, навчання та адаптацію нейромереж.

Це дозволяє агенту А3 працювати з користувачем у діалоговому режимі, а саме: отримувати інтегральні дані про техногенність території, рівень її забруднення та, залежно від цього, надавати рекомендації щодо виробництва того чи іншого різновиду

хлібобулочної продукції з функціональними (дієтичними, лікувально-профілактичними) властивостями.

У процесі функціонування АЗ регулярно поповнює бази даних та знань відповідною інформацією, наприклад, новими відомостями про споживачів хліба, які проживають та/або працюють на території з техногенним тиском. Таким чином, у загальній базі даних зберігається вся інформація, необхідна для функціонування інтелектуальної системи управління підприємством.

Система нейромережевого моніторингу технологічного процесу виробництва хлібобулочної продукції для населення, що проживає на території з техногенним тиском, побудована на основі мобільних агентів, які відрізняються спроможністю до динамічного поведіння в мережі. Технологіями реалізації в програмному середовищі мобільних агентів були обрані Java й Aglets Software Development Kit (ASDK).

Програми на Java транслуються в байт-код Java, який виконується віртуальною машиною Java (JVM) — програмою, що обробляє байтовий код та передає інтерпретовані інструкції обладнанню. Перевагою такого способу виконання програм є цілковита незалежність байт-коду від операційної системи та обладнання, що дозволяє виконувати Java-додатки на будь-якому пристрої, для якого існує відповідна віртуальна машина.

Комплект для розроблення програмного забезпечення ASDK є основою та середовищем для розроблення та запуску мобільних агентів (аглетів). Сучасна версія такого програмного забезпечення від компанії IBM характеризується зручним графічним інтерфейсом користувача, який забезпечується сервером аглетів Tahiti, та простою, прозорою структурою. Особливістю цієї версії програмного забезпечення також є спеціально розроблений стандарт MASIF (Mobile Agent System Interoperability Facility) для забезпечення взаємодії між різними агентними системами.

Розглянемо природу поведіння аглетів більш детально. Загалом це об'єкти Java, які можуть переміщатися з одного комп'ютера мережі на інші. Під переміщенням аглета розуміють передавання програмного коду зі збереженням стану агента, тобто значень його атрибутів. Таким чином, якщо агент виконує деякі дії на одному комп'ютері, то у будь-який момент він може зупинитися, переміститися на інший і продовжити там свою роботу.

Базова функціональність аглетів визначається програмним інтерфейсом Application Programming Interface (API). Для забезпечення мобільності агентів (переміщення на віддалені комп'ютери) ASDK використовує модель подій (event model).

Так, агент 3, у цьому випадку керує роботою комп'ютерного обладнання систем управління випіканням хліба у роторній печі, оцінюючи ситуацію $\{S_n\}$ — події щодо оцінювання якості газу і роботи САР співвідношенням «газ — витрати — повітря» / якість хліба / витрати енергоресурсів. Ці ситуації в керуванні випіканням хліба можуть бути реалізовані через інтерфейс com.ibm.aglet.event, Mobility Listener (він відповідає за оброблення подій, пов'язаних з оцінюванням роботи роторної печі і замовленням інноваційних різновидів хліба).

Пропонована система моніторингу режимів приготування тіста, випікання хліба та контролю продуктивності технологічного обладнання може бути реалізована на основі клієнт-серверної архітектури.

Остання розробка, процесори Itanium 9560 MP, орієнтована на вирішення завдань інтелектуального управління, таких, як планування ресурсів підприємства, управління ланцюгами поставок, управління взаємовідносинами з клієнтами (розумні магазини), інтелектуальний ремонт і управління завантаженням обладнання ліній з виробництва хліба.

У нашому варіанті інтелектуальної системи управління виробництвом хлібобулочної продукції пропонується використовувати МП Itanium 2, які мають переваги порівняно з аналогами: використання шести арифметико-логічних пристроїв (АЛУ, ALU), чотирьох портів пам'яті, 64-бітові інструкції.

Комп'ютери на базі Itanium 2, а також відповідні комплекси чіпсетів HP2x2 є найбільш поширеними в класі бюджетних SMP-систем, побудованих на платформі IA-64.

Набір Zx1 має три типи мікросхем МІО (Memory Input/Output). Чіп МІО забезпечує інтерфейс з 128-бітною системою шиною Itanium 2, яка має максимальну пропускну

здатність 6,4 ГБ/с з ОЗУ і контролером введення-виведення. Чіп МІО підтримує вісім каналів введення-виведення з пропускнуою здатністю 500 МБ/с на канал. Внутрішня шина в МІО мінімізує трафік введення-виведення на процесорній шині, яка включає в себе дані, що записуються з кешу мікропроцесора на зовнішній пристрій. Шина ЦП не бере участі в передаванні даних DMA. Контролер введення/виведення відповідає за передавання даних в інтерфейсі шини Itanium 2. Конструкція МІО використовує до чотирьох відповідних шин введення/виведення, що працюють на частотах від 100 до 266 МГц.

Для підключення адаптера ІоА, який працює з високошвидкісними шинами, можливе об'єднання каналів введення-виведення. Ця інтеграція дозволяє створювати різні конфігурації підсистем вводу-виводу. Для адаптерів введення-виведення Zx1 Іоа основне значення має можливість підключення 4 мостів PCI / PCI-X з пропускнуою спроможністю 1 ГБ/с кожен до контролера МІО. У ІоА є засоби підвищення продуктивності: буфери читання/запису, обладнання для зчитування з попередньою вибіркою, черги перерозподілу.

Мікропроцесорна система (MPS) являє собою функціонально завершений продукт, що складається з одного або декількох пристроїв, основою яких є мікропроцесор.

MP характеризується великою кількістю параметрів і властивостей, оскільки він, з одного боку, є складним обчислювальним пристроєм, а з іншого — електронним пристроєм, продуктом електронної промисловості.

Як засіб комп'ютерної технології він характеризується, по-перше, архітектурою, тобто набором програмного і апаратного забезпечення, що надається споживачеві, і, по-друге, мікропроцесором із системами команд і обробки даних, режимами адресації, регістрами, оперативною пам'яттю і зовнішніми пристроями. Може виконувати функції елемента управління в системі.

Універсальні мікропроцесори призначені для вирішення різних завдань цифрової обробки інформації, від інженерних розрахунків до роботи з базами даних, які не пов'язані жорсткими тимчасовими обмеженнями. Цей клас МП відомий найбільш широко. Він включає в себе такі МП: сімейства процесорів Pentium від Intel і Athlon від AMD.

Універсальні МП розподіляються на мікропроцесори CISC і RISC.

CISC (обчислення з повним набором команд) — МП, які мають весь класичний набір команд із широко розвиненими режимами адресації операторів. Цей клас включає, наприклад, мікропроцесори типу Pentium.

RISC (обчислення зі скороченим набором команд) — МП, які використовують зменшену кількість команд і режимів адресації, таких як Alpha 21x64, Power PC і ін.

Однокристалні мікроконтролери (ОМК або МК) призначені для використання в системах промислової автоматизації та автоматичного управління. Це ВІС, які включають в себе всі пристрої, необхідні для реалізації цифрових систем управління з мінімальною конфігурацією: процесор, ЗП команд, ЗП даних, генератор тактових сигналів, програмовані пристрої для зв'язку зі зовнішнім середовищем (контролер/переривач, таймери/лічильники, різні порти введення/виведення), аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) тощо. До класу однокристалних мікроконтролерів належать МП серії VCS-51 фірми Intel та подібні мікропроцесори інших фірм, архітектура яких де-факто стала стандартом.

Процесори цифрової обробки сигналів, ЦОС (digital signal processor, DSP) — це клас спеціалізованих програмованих мікропроцесорів, призначених для маніпулювання в реальному масштабі часу потоком цифрових даних, наприклад, обробки звукових сигналів, розпізнавання образів і т. п. ЦОС працюють так, що фізичний сигнал (неперервний у часі такий як: напруга, струм тощо) перетворюється в послідовність чисел, які потім підлягають обробці в обчислювальному пристрої. Оброблений цифровий сигнал, за необхідності, може бути перетворений назад у напругу або струм.

ЦОС мають багато спільних рис з однокристалними МП гарвардської архітектури, які відрізняються фізичним та логічним розділенням пам'яті програм та пам'яті даних, а також розвинутими можливостями роботи із зовнішніми пристроями. Проте в ЦОС присутні й риси універсальних МП, особливо з RISC-архітектурою, такі, як конвеєрна

організація роботи, програмні та апаратні засоби для виконання операцій із плаваючою комою, апаратна підтримка складних спеціалізованих обчислень, особливо множення.

Для реалізації багатовимірного нечіткого логічного регулятора (БНЛР) на базі SCADA-систем, у якому запропоновано компенсацію взаємного впливу контурів регулювання з мінімізованим часом відгуку нами було запропоновано використати багатовимірний пропорційний дискретно-логічний регулятор. У ньому відсутній автономний порівнювальний пристрій.

Порівняльний аналіз існуючих систем програмування промислових і ПК-логічних контролерів (Trace mode softologic, Simatic step 7, Rslogix 500 тощо) дав змогу нам віддати перевагу системі Simatic step 7 — пакету програмного забезпечення компанії Siemens, яке призначене для розробки систем на базі програмованих логічних контролерів Simatic та інших з подібною архітектурою.

У процесі аналізу було встановлено таке: для ефективної програмної реалізації БНЛР з чіткими термінами та змінними у вигляді сукупності аргументів двозначної логіки необхідно розробити спеціальну систему автоматизованого проектування. Особливістю такої системи є універсальність та мінімізація часу відгуку, що сприятиме стабілізації вихідних параметрів роботи системи «насос — тістомісильна машина — сепаратор — робототехнологічний комплекс — інтенсифікатор».

Під час розроблення БНЛР запропоновано спосіб інтерпретації безперервних фізичних величин у вигляді еквівалентної сукупності чітких термінів. Новизна такого способу полягає у можливості вибору характеру і порядку розподілення чітких термінів на універсальній числовій осі, що дозволить розширити функції і сферу використання БНЛР.

У нашому випадку управління складним технологічним процесом випікання хліба запропоновано таку концепцію побудови ІСУ, в якій блок логічного виведення зображено у вигляді системи керування впливів з механізмами формування ідентифікаційних номерів продукційних правил.

На рис. 3 надано структурну схему БНЛР.

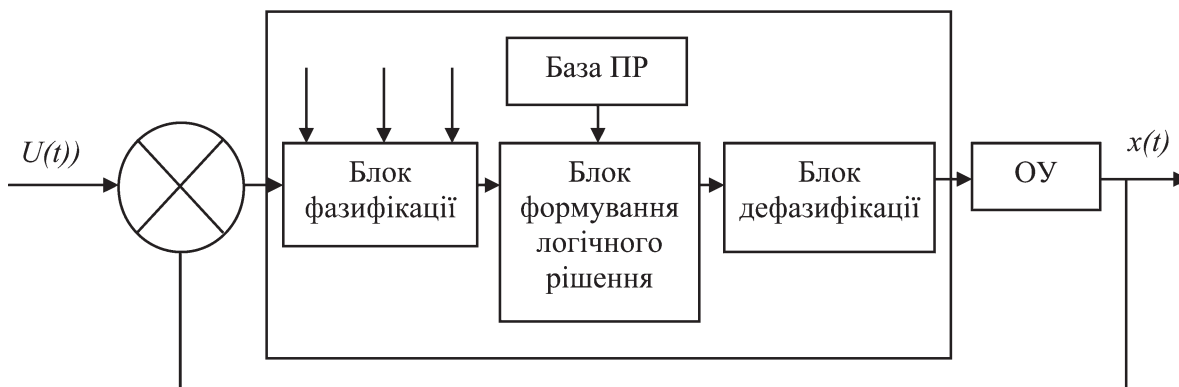


Рисунок 3 — Типова система управління виробництвом хліба з нечітким регулятором

Такий спосіб дозволяє в кожному циклі сканування БНЛР не обробляти систему продукційних правил загалом, а лише визначати те дійове правило, антецедент якого дорівнює логічній одиниці.

Це твердження опирається на той факт, що будь-яка безперервна фізична величина в кожний момент часу t може набувати одне і лише одне чітке значення, яке знаходиться усередині відрізка універсальної числової осі, який накривається відповідним чітким термом, значення якого у цей період часу дорівнює логічній одиниці.

Для нашого випадку одержано аналітичні вирази для розрахунку основних параметрів. Кількість продукційних правил R БНЛР:

$$1) R = R_x \cdot R_{y+1}; \quad 2) R_x = K(X_1) \cdot K(X_2) \cdot \dots \cdot K(X_n); \quad (6)$$

$$3) R_y = K(Y_1) \cdot K(Y_2) \cdot \dots \cdot K(Y_k),$$

де R_x, R_y — кількість продукційних правил БНЛР, утворених n -вхідними і K -вихідними змінними X і Y відповідно; $K(X_1), \dots, K(X_n)$ й $K(Y_1), \dots, K(Y_n)$ — кількість чітких термів змінних X_1, \dots, X_n та Y_1, \dots, Y_n БНЛР відповідно.

Відсоток скорочення сумарного числа продукційних правил ΔR БНЛР:

$$\Delta R = \left\{ 1 - \frac{\prod_{i=1}^n K(x_n) * \prod_{j=1}^k K(Y_k) + 1}{\prod_{i=1}^n (K(x_n) + 1) * \prod_{j=1}^k (K(Y_k) + 1)} \right\} * 100\% . \quad (7)$$

Кількість операцій порівняння L БНЛР:

$$L = \sum_{i=1}^n (K(X_1) + 1) + \sum_{j=1}^k (K(Y_j) + 1). \quad (8)$$

У схемі формування ідентифікаційного номера продукційного правила БНЛР $K_1(X_1), K_2(X_2), \dots, K_t(X_n), R_t(Y_1), K(Y_2), \dots, K_r(Y_k)$ — порядкові номери чітких термів, значення яких дорівнює логічній одиниці в момент часу t , змінних X_1, X_2, \dots, X_n та Y_1, Y_2, \dots, Y_k БНЛР відповідно.

Структурна схема системи продукційних правил багатовимірного чіткого логічного регулятора у нашому випадку буде складатись із регулюючої складової продукційного правила (відповідно РСПП та КСПП). Відпрацювання РСПП і КСПП виконується в кожному циклі сканування. Компенсаційна система продукційних правил дозволяє вирішити основну проблему синтезу БНЛР, тобто призначена для відокремлення в стійкому режимі взаємних впливів контурів регулювання.

Основними електронними системами ІСУ на основі БНЛР є:

$Z(t)$ — давальних $Y(t)$ й $U(t)$ — вектори регульованих та регулюючих параметрів; X_b і Y_b — дискретні вхідні й вихідні сигнали багатомірного об'єкта керування (БОК) відповідно; TZY і Um — вектори термів задаючих, регульованих й регулюючих параметрів відповідно.

Джерелом інформації під час розроблення системи продукційних правил багатовимірного чіткого логічного регулятора є експериментально отримані залежності задавального та регульовального параметрів у автономному та зв'язаному режимах U_{mi}, U_{ai} його роботи.

Через те, що до складу умовної частини продукційних правил БНЛР є можливість включити терми як вихідних, так і вхідних змінних регулятора, інформацію для розроблення компенсуючої системи продукційних правил нами запропоновано одержувати із двох або більше (за необхідності) експериментів під час роботи БНЛР з об'єктом управління: тістомісильний апарат → роторна піч → система управління температурними режимами випікання хліба.

Геометрія камери випікання хліба може бути ідентифікована таким рівнянням:

$$U_{ki} = U_{mi} + U_{ai} . \quad (9)$$

Функція U_{ki} є закономірним відображенням експериментально одержаної функції відносно осі абсцис. У процесі дослідження доведено, що в разі точного відображення функції U_{ki} цілком компенсує вплив $(n-1)$ рівнів на i -й контур регулювання БНЛР.

Авторами було проведено спеціальний експеримент із впровадження БНЛР у процес управління стадією випікання хліба. У даному експерименті було проведено кількісне оцінювання мінімізації відгуку БНЛР. У процесі було доведено, що середній відсоток збільшення швидкості дії багатовимірної ІСУ при використанні БНЛР буде змінюватися в діапазоні (25...35)%, залежно від сумарної кількості чітких термів безперервних фізичних величин K .

У процесі впровадження БНЛР виникла проблема реалізації програмного забезпечення функціональних блоків (фазифікаторів і дефазифікаторів) БНЛР STEP-TIM алгоритму фазифікації на мовах програмування стандарту ІЕС 61131-3 в інструментальному середовищі розробки TRACE MODE 6.0 TASIMATICSTEP 7.

У процесі проведення експерименту були отримані аналітичні залежності для розрахунку максимального і мінімального поточних ідентифікаційних номерів продукційного правила БНЛР:

$$N_m^{\max} = R - 1$$

$$N_m = (K(P_1) - 1) * K(P_2) * \dots * K(P_N) + \dots + (K_t(P_{N-1}) - 1) * K(P_N) + K_t(P_N), \quad (10)$$

де вектор P описує сукупність n -вхідних та K -вихідних змінних X і Y БНЛР відповідно; $K_t(P_N)$ — номер терма-змінної P_N , значення якого дорівнює логічній одиниці в момент часу t ; $K(P_N)$ — кількість чітких термів змінної P_N .

На основі цих досліджень та висновків розроблено концепцію семантичного аналізу структури програмного коду багатовимірною чіткою логічною регулятором. Вона складається з шістьох положень, які передбачають детальну перевірку системи впливів керування щодо наявності повторень, які є суперечними та взаємодоповнюють продукційні правила.

Авторами роботи розроблено універсальне програмне забезпечення для системи автоматизованого проєктування та розроблення багатовимірних логічних регуляторів зі змінними у вигляді сукупності аргументів двозначної логіки та компенсацій взаємного впливу контурів регулювання «САРБЧЛП». Система проєктування розроблена в інструментальному середовищі об'єктивно-орієнтованої мови програмування Embarcadero Delphi.

Висновки. Розроблено інтелектуальну систему управління виробництвом хлібобулочної продукції, у якій аналіз збурень сировини, води та обладнання виконано за допомогою системи моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання. Системи моніторингу робочих характеристик обладнання та якості води, сировини, опари, тіста виконано на основі агентських технологій, що дає можливість на базі нечітких регуляторів побудувати системи адаптивного керування комплексом приготування тіста та випіканням хліба.

Аналіз результатів функціонування алгоритму і структури адаптивної САК з моніторингом робочих характеристик обладнання (моніторингу якості продукції) дозволяє зробити висновок про те, що метод побудови адаптивних САУ, САК дає змогу синтезувати нечіткі регулятори для елементарних операцій технологічних процесів виробництва хліба з урахуванням нелінійності об'єкта керування.

Доведено, що відпрацювання еталонного завдання в умовах невизначеності зовнішніх і внутрішніх збурень, які не контролюються датчиками, може бути оцінено експертною системою формування законів управління технологічним процесом виробництва хліба. Врахування знань і навичок операційного персоналу в експертній системі управління з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання та якості сировини, у тому числі води, дозволяє побудувати робастні інтелектуальні системи управління хлібозаводом з оптимізацією його параметрів продуктивності та мінімізацією питомих енерговитрат.

Отже, розроблення систем багатоцільового управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва на основі контролю якості продукції та інтелектуальних технологій сприятиме підвищенню продуктивності праці та зменшенню питомих втрат продовольчих, енергетичних та інших видів ресурсів.

Список літератури

1. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Возняк А. В., Омельченко О. В., Заїкіна Д. П., Копайгора О. К., Шеїна А. В. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів : монографія. Кривий Ріг, 2019. 204 с.
2. Корзун В. Н. Вимоги до якості харчування населення в умовах екологічного неблагополуччя. *Екологічний вісник*, 2006, № 6, С. 10–14.
3. Федорова Т. В. Підвищення конкурентоспроможності підприємств хлібопекарської галузі: дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04 . Житомир, 2015. 204 с.
4. Pozdniakov, S. V., Kuzmin, O. V., Kiiko, V. V., Korenets, Yu. M. (2018). Definition of the role of business modelling in the building of a management information system. *Strategies for Economic Development: The experience of Poland and the prospects of Ukraine*, vol. 2, pp. 231–245.

5. Khorolskyi, V., Korenets, Yu., Ostapenko, I. (2018). Development of robototechnological complex of intellectual management by bread manufacturing for technological loading territories. *Technology audit and production reserves*, no. 1 (3), pp. 53–58.

6. Хорольський В. П., Коренець Ю. М. Проектування робототехнологічного комплексу з виробництва хліба для територій з техногенним тиском. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 2018, № 1 (257), С. 256–263.

7. Хорольський В. П., Ключев Д. Ю., Коржов С. М. Інтелектуальна система управління та моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2016. № 6 (243). С. 55–62.

8. Шаруда С. С., Кишенько В. Д. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2010. № 5/3 (47). С. 66–70.

References

1. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Vozniak, A. V., Omelchenko, O. V., Zaikina, D. P., Kopaihora, O. K., Sheina, A. V. (2019). *Intelektualni systemy upravlinnia vyrobnytstvom khlibobulochnykh vyrobiv* [Intellectual systems for production management of bakery products], Kryvyi Rih, 204 p.

2. Korzun, V.N. (2006). *Vymohy do yakosti kharchuvannia naseleння v umovakh ekolohichnoho neblahopoluchchia* [Requirements for the quality of nutrition of the population in conditions of ecological disadvantage]. *Ekolohichniy visnyk* [Ecological Bulletin], no. 6, pp. 10–14.

3. Fedorova, T. V. (2015). *Pidvischennya konkurentospromozhnosti pidpriemstv hlibopekarskoyi galuzi* [Increasing the competitiveness of the baking industry.]. Zhytomyr, 204 p.

4. Pozdniakov, S. V., Kuzmin, O. V., Kiiko, V. V., Korenets, Yu. M. (2018). Definition of the role of business modelling in the building of a management information system. *Strategies for Economic Development: The experience of Poland and the prospects of Ukraine*, vol. 2, pp. 231–245.

5. Khorolskyi, V., Korenets, Yu., Ostapenko, I. (2018). Development of robototechnological complex of intellectual management by bread manufacturing for technological loading territories. *Technology audit and production reserves*, no. 1 (3), pp. 53–58.

6. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M. (2018). *Proektuvannia robototekhnolohichnoho kompleksu z vyrobnytstva khliba dlia terytorii z tekhnohennym tyskom* [Designing of a robotic technological complex for bread production for territories with technogenic pressure]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Engineering sciences], no. 1 (257), pp. 256–263.

7. Khorolskyi, V. P., Kliuiev, D. Yu., Korzhov, S. M. (2016). *Intelektualna systema upravlinnia ta monitorynhu robochykh kharakterystyk tekhnolohichnoho obladnannia khlibobulochnykh zavodiv* [Intelligent system for management and monitoring of performance of technological equipment of bakeries]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Engineering sciences], no. 6 (243), pp. 55–62.

8. Sharuda, S. S., Kyshenko, V. D. (2010). *Intelektualna systema stsensarnoho upravlinnia khlibopekarskym vyrobnytstvom* [Intelligent script management system for bakery production]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], no. 5/3 (47), pp. 66–70.

Objective. *The purpose of this study is to improve the design of technological equipment for the production of bakery products through the use of intelligent production management systems. This goal is specified in such tasks as the analysis of existing equipment for the production of bakery products, the justification of the choice of equipment for the bakery, taking into account the minimization of the harmful effects on the environment, the study of the theoretical foundations of building intelligent control systems for the bakery and the development of an intelligent process control system in the production of bakery products.*

Methods. *Research methods are based on the theoretical and experimental determination of the operating characteristics of the “dough → dough → baking” system under the influence of cavitation processes.*

Results. *An intelligent system for automated control of the production of bakery products has been developed, in which the disturbance analysis of raw materials, water and equipment is performed using a system for monitoring the performance of technological equipment. Systems for monitoring the operating characteristics of equipment and the quality of water, raw materials, dough, dough, based on agent technologies, make it possible to build adaptive control systems (ACS) on the basis of fuzzy regulators by a dough preparation complex and bread baking. The construction of adaptive self-propelled guns allows the synthesis of fuzzy controllers for elementary operations of technological processes for the production of bread, taking into account the nonlinearity of the control object. It is proved that the development of the reference problem in the conditions of uncertainty of external and internal disturbances that are not controlled by sensors can be evaluated by an expert system for the formation of laws for controlling the technological process of bread production. Taking into account the knowledge and skills of operating personnel in an expert management system for agent technologies for monitoring the performance of equipment and the quality of raw materials, including water, allows you to build robust intelligent control systems for the bakery with the optimization of its performance parameters and the minimization of specific energy costs. The development of multi-purpose control systems for technological processes of bakery production based on product quality control and intelligent technologies will help increase labor productivity and reduce the specific losses of food, energy and other types of resources.*

Key words: *bread, dough, dough, baking, intelligent control system, cavitation, thermal processes, rotary kiln.*