

УДК 681.51:664.65(045)

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Д.Ю. КЛЮЄВ, С.М. КОРЖОВ

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

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТА МОНІТОРИНГУ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ЗАВОДІВ

*У роботі розглянуто та запропоновано метод моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібозаводу та якості продукції. Розроблено інтелектуальну систему управління та контролю технологічним процесом виробництва хліба з підсистемами підготовки сировини, опари, тіста та випікання тістових заготовок. Доведено, що довготермінові зміни робочих характеристик обладнання повинні бути враховані при проектуванні систем інтелектуального управління технологічними лініями хлібозаводів з виробництва К-сортів хліба на рівні локальних фаззі-систем автоматизованого контролю та управління. Обґрунтовано роль експертних систем управління з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання заводу, якості сировини і води та їх взаємодію з локальними системами керування й фаззі-системами стабілізації параметрів опари та випікання тістових заготовок.*

*Ключові слова: моніторинг, процес, експертна система, адаптація, нечітке фаззі-керування, інтелектуальне управління.*

V.P. KHOROLSKYI, D.YU. KLYUEV, S.M. KORGOV

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

## INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM AND MONITORING OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF BAKERY PLANTS

*In the article developing a method of monitoring performance of technological equipment of the bakery's product quality. Developed an intellectual control system and control technological process of bread production with the subsystems of raw material preparation, dough, dough and baking dough pieces. It is proven that long-term changes in equipment performance should be taken into account in the design of intelligent control systems of technological lines for bakery production of breads at the local level fuzzy systems for automatic control and management. The role of expert control systems with agent technology monitoring equipment performance of the plant, quality of raw materials and water and their interaction with the local control systems fuzzy systems of stabilization settings dough and baking the dough pieces.*

*Keywords: monitoring, process, expert system, adaptation, fuzzy logic, fuzzy control, intelligent control.*

### Вступ

На даному етапі розвитку, в харчовій промисловості використовуються складні й трудомісткі технології, які потребують розробки комплексного підходу щодо автоматизації, роботизації технологічних процесів даних підприємств. Впровадження прогресивних технологій, механізації й енергоефективності дозволяє зменшити витрати на виробництво 1 тони хліба та підвищити продуктивність праці на хлібозаводах. Велике значення при цьому набуває розробка та впровадження інтелектуальних систем управління з неймережевими моделями моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів. Технологічне обладнання по характеру й впливу на сировину або на півфабрикати може бути розділено на машини й обладнання. Завданням машин є механічне оброблення сировини або напівфабрикатів шляхом впливу на їх робочі органи за рахунок перетворення механічної енергії. У технологічних апаратах процес виготовлення продукції виконується за рахунок теплових, електричних, фізико-хімічних, біологічних та інших впливів які викликають зміни фізичних, хімічних та механічних властивостей або агрегатного стану обробленого продукту. Таким чином, технологічна лінія з виробництва хліба, починаючи від завантаження муки до одержання готової продукції являє собою складну динамічну систему із розподіленими в часі параметрами керування; характеризується затримкою у 9-10 годин, а отже є об'єктом досліджень з позиції розробки інноваційного технологічного обладнання, систем моніторингу робочих характеристик та впровадження енергоефективних технологій виробництва хліба.

### Аналіз досліджень і публікацій

Розробка технологій виробництва екологічнобезпечної продукції для населення, що мешкає на територіях з техногенним забрудненням ставить перед менеджерами підприємств наступні завдання : вибір ефективних шляхів (що надають швидкий економічний ефект) розв'язання вищезазначеної проблеми підвищення продуктивності хлібобулочного виробництва та якості продукції з одночасним зменшенням її собівартості; надійного функціонування основного технологічного обладнання за рахунок розробки та впровадження багаторівневих інтелектуальних автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) з контурами оцінки якості продукції та моніторингу робочих характеристик обладнання ; виробництва продукції, яка відповідає державним стандартам України та країн ЄС. Проведений аналіз відомих технологій виробництва хлібобулочних виробів [1] дозволив зробити висновок, що дане виробництво є типовим нелінійним багаторівневим процесом харчової промисловості [2] для якого, реалізація програм інтелектуального управління підприємством і його роботизації пов'язана з розробкою на базі агентських систем [3] технологій моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання

хлібобулочних заводів та адаптивних систем контролю і управління виробництвом хліба зменшити їх енергоспоживання [4]. Аналітичний огляд наукових праць пов'язаних з виробництвом якісної продукції українських вчених: М.В. Васьківа, В.В. Івашука [5], В.Г. Мирончука [6]; закордонних вчених: У.Е. Демінга, К. Ісікава, Е. Кондо [7], – свідчить про те, що такі системи можуть ефективно працювати в комплексі з контурами моніторингу якості та робочих характеристик технологічного обладнання. За рахунок впровадження АСУТП виробництва продукції значно покращуються вихідні показники хлібопекарських виробництв, що дозволяє при застосуванні сучасних інтелектуальних технологій керування складними динамічними процесами, виробляти лише якісну продукцію [7–9]. Таким чином, до теоретичних напрацювань і проектних рішень вчених [9] щодо виробництва якісної продукції необхідно додати чинники інтелектуального управління підприємствами харчової промисловості з контурами моніторингу якості й робочих характеристик обладнання на базі агентських систем, що дозволить виробляти екологічнобезпечну продукцію для населення, яке проживає на територіях з техногенним тиском. Отже, розробка систем інтелектуального управління й моніторингу технологічного обладнання та якості сировини і продукції на базі агентських систем з метою ефективного керування нестационарними об'єктами є актуальною науковою задачею.

### Мета статті

Метою роботи є підвищення ефективності керування виробництвом хліба для територій з техногенними забрудненням шляхом застосування систем моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання та інтелектуального управління на основі нечітких мережевих структур в умовах постійного контролю якості сировини, води та інших компонентів встановлених державними стандартами України та країн ЄС.

### Виклад основного матеріалу

Сучасні системи інтелектуального управління і контролю технологічним процесом (ІУКТП) виробництва хліба – це робастні системи в яких знання про нечіткі характеристики об'єкту управління і навколишнього середовища (в якому працює підприємство) формуються у процесі навчання й адаптації. Одержана при цьому інформація використовується в процесі автоматичного прийняття рішень таким чином що ефективність керування технологічними апаратами машинами й технологічними лініями з виробництва N-видів продукції й підприємства в цілому покращуються [8].

Поточні лінії хлібопекарного виробництва складаються з  $n$  елементарних технологічних операцій. У процесі розробки систем автоматизації вони повинні бути робастними і мати прості математичні моделі та просте програмне забезпечення, якими повинні легко користуватись оператори-технологи та інженери з автоматизації. Оперативному персоналу повинні бути доступними такі процедури як реконфігурування автоматики та управління процесом в інтелектуальній манері досвідченого технолога-експерта [9]. Таким чином, знання технологічних операцій дозволяє побудувати ІУКТП з адаптивними системами керування технологічними процесами виробництва хліба високої якості, мінімізуючи енергозатрати. З метою побудову локальних систем автоматичного керування з адаптивними властивостями виділимо наступні технологічні операції, які визначають продуктивність, якість, енергоефективність процесів виробництва хліба:

1 – підготовку сировини до виробництва (збереження, змішування, аерація, просіювання і дозування муки, очищення води, розчинів солі, цукру, жирових й дріжджових емульсій їх темперування й дозування, мийка та очистка;

2 – заміс й бродіння опари та тіста (заміс тіста виконується впродовж 3–20 хвилин при 28...30 град, бродіння опари впродовж 2-4 години, тіста 1-2 години), щільність пшеничного тіста після замісу складає  $1200 \text{ кг/м}^3$ , на при кінці бродіння  $-500 \text{ кг/м}^3$ ;

3 – розділення - поділення готового тіста на куски однакової маси (піддається багаторазовому механічному впливу до  $0,1...0,2 \text{ МПа}$ );

4 – формування (механічна обробка заготовок з тіста із метою надання їм визначеної форми й створення на поверхні потовщеного шару що спонукає до покращення формо- й газоутримання);

5 – витримка (сформованих тістових заготовок у спеціальних камерах впродовж 20–50 хв, при температурі 35–40 град і відносної вологості повітря 80–85 %);

6 – гіротермічна обробка й випічка (виконується впродовж 2-3 хв у парових камерах й промислових печах при температурі 100–160 град та відносної вологості повітря 70...85 %, випікання виконується при змінних температурних режимах печі 250-150 град впродовж 10-60 хв при зниженій вологості середовища пічної камери;

7 – охолодження та зберігання продукції (виконується у приміщеннях до кімнатної температури впродовж 1-2 год).

Значній кількості технологічних процесів виробництва хлібобулочних виробів із борошна з різними хлібопекарськими якістьними властивостями проблема неможливості прямого контролю параметрів робочих характеристик процесу, за допомогою яких може здійснюватись ефективне автоматичне керування на нижньому рівні ІУКТП. Контроль таких чинників виконується, як правило, візуально на базі оцінок персоналом. Тому ряд технологічних параметрів робочих характеристик можливо оцінити за допомогою непрямих показників процесів виробництва продукції. З використанням сучасних інформативних технологій

побудуємо експертну систему оцінки робочих характеристик процесу виробництва хліба.

Розглянемо деякі характерні параметри важливих технологічних характеристик борошна, води, солі, цукру, маргарину, олії рослинної та розпушувачів (дріжджі пресовані). Якість борошна операційні менеджери оцінюють за наступними параметрами: колір, запах, смак, крупність, помелу, волосність, білість, масова частка домішок, зараженість шкідниками хлібних злаків, масова частка клейковини та її якість колір борошна є характерною ознакою його якості. Наприклад, експерт з якості оцінює якість борошна по відтінку, зольність і білість характеризують сорт борошна. Величина зольності залежить від вмісту в борошні периферійних частинок зерна, які є основними носіями мінеральних речовин і обумовлюють його колір. Кількісні і якісні характеристики клейковини визначають його якість (за ДСТУ цей показник встановлено на рівні для борошна вищого сорту – 24%, I сорту – 25%, II сорту – 21%, обойного борошна 18%). Важливим показником є кислотність борошна, яка характеризує його сорт і свіжість та впливає на смак і запах хліба. Якість хліба пшеничного на заводах оцінюють органолептично за зовнішнім видом, станом м'якушки, смаком і запахом. Завдяки різним технологіям виробництва хліба, розроблених авторами [11–13] можливо одержати важливу експертну інформацію про характеристики сировини, води, інших компонентів, які в процесі виробництва визначають якість хліба та відповідність його державним стандартам України та країн ЄС [14, 15].

При оцінці фізико-хімічних показників визначають вологість м'якушки, кислотність і пористість. Підвищена вологість знижує живильну цінність хліба, погіршує його смак і скорочує термін зберігання. При цьому відомо, що чим вищий сорт борошна, тим менше норма вологості хліба. По чинникам кислотності експерти оцінюють смакові властивості хліба, а головне судять про правильність ведення технологічного процесу, чим вище пористість виробу, тим довше хліб зберігає свіжість і краще засвоюється організмом. Отже для кожного сорту хліба необхідно розробити адаптивний технологічний режим (адаптивну технологічну карту) гігromетричної та теплової обробки виробу та реалізувати систему адаптивного керування елементарною технологічною операцією. З експертними системами управління; представлення знань у вигляді правил-продукцій виду «якщо..., то...»; системи у моніторингу робочих характеристик обладнання та якості води, сировини, опари, тіста, хліба; методику нечіткого управління та з формуванням логічного рішення щодо зміни структури управління. На рис. 1 наведено структуру інтелектуальної системи контролю й управління технологічним процесом ІУКТП виробництва хліба для населення що мешкає на забруднених територіях. Головними елементами такої ІУКТП є системи: моніторингу робочих характеристик обладнання (СМРХО); моніторингу якості води, сировини, опари, тіста, хліба (СМЯ); експертні системи управління виробництвом хліба (ЕСУ). У процесі виробництва різних сортів хлібобулочних виробів, життєвий цикл яких може змінюватись у залежності від портфеля замовлення, ІУКТП за допомогою підпрограми «Економіка» виконує:

1. Розрахунки щодо обсягів споживання борошна, води, електрики, газу та інших компонентів (солі, дріжджів, олії, маргарину тощо). У режимі реального часу виконується також розрахунок співвідношень компонентів опари та тіста. При цьому додаткові сервіси щодо операційного планування, розрахунку життєвого циклу, оцінки капіталу, рентабельності й прибутку виконуються на верхньому рівні за допомогою ERP й MES систем. Ця інформація віддзеркалюється за допомогою монітору корпоративної продуктивності (МКП) й надходить до автоматизованого робочого місця оператора (АРМО) та особи, що приймає рішення (ОПР);

2. Оцінку добового обсягу виробництва  $n$  сортів хлібобулочних виробів, фактичної продуктивності хлібозаводу, запасів борошна та інших компонентів;

3. Оцінку фактичного споживання газу, електроенергії, води.

Отже на верхньому рівні підприємства ІУКТП виконує адміністративно-менеджерські функції, головними з яких є складання й корекція графіка виробництва  $k$ -видів продукції у залежності від поточного стану портфеля замовлення. На цьому рівні система автоматизації узгоджує умови на випуск продукції з ресурсами (якістю сировини, станом й виробничими потужностями обладнання). Крім цього система організує використання апаратів та машин технологічних ліній з виробництва хлібобулочних виробів у функції часу, необхідного для виробництва заданого портфелем замовлень партії продукту з урахуванням того факту що деякі продукти не можливо завантажити у одні й ті ж апарати. Таким чином, сучасні ІУКТП повинні мати високий рівень управління на рівні партії продуктів харчування, а на рівні технологічних апаратів й машин та їх робочих процесів повинні бути робасними й побудованими на базі нечіткої логіки [8].

Багатоцільову оптимізацію процесу виробництва хліба запишемо наступним чином:

$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{вир}}(x_t, y_t) \rightarrow \max \\ We(x_t, y_t) \rightarrow \min \\ Q_{\text{хліб}}(x_t, y_t) \rightarrow \text{optim} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

де при обмеженнях:

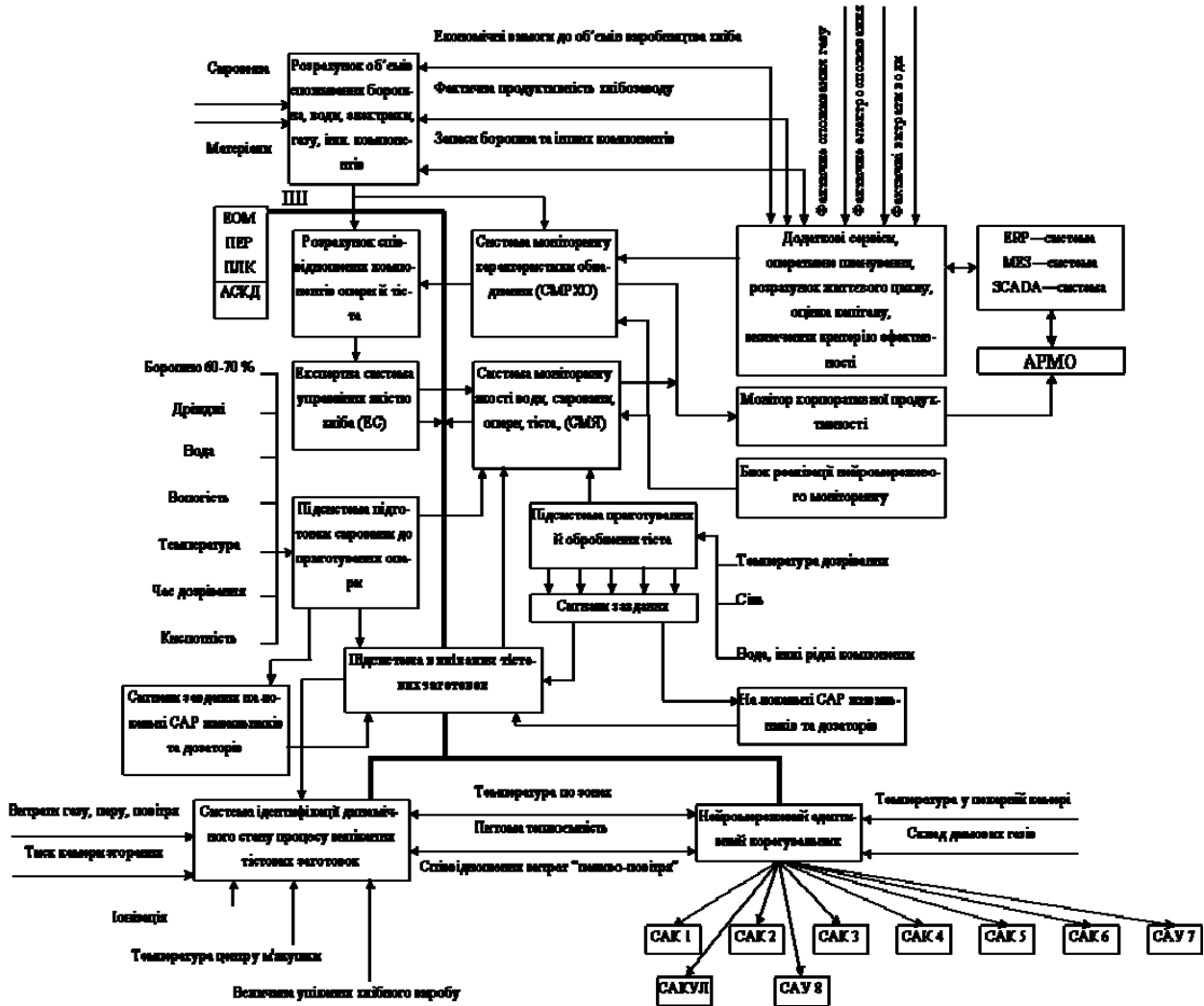


Рис. 1. Структура інтелектуальної системи контролю й управління технологічним процесом

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max} \\ y_{i \min} \leq y_i \leq y_{i \max} \end{array} \right\},$$

де  $x_{i \min} \dots, x_{i \max}$  й  $y_{i \min} \dots, y_{i \max}$  – діапазони зміни робочих характеристик машин та апаратів й параметрів процесу виробництва хліба (балансові обмеження);

$y_i(x_i)$  – функціонали, що відображують взаємозв'язки параметрів технологічних процесів виробництва хліба (структурні обмеження);

$We(x_i, y_i)$  – енергетичні параметри виробництва однієї тони хліба;

$Q_{\text{хліб}}$  – якість хліба що відповідає державним стандартам України на країн ЄС.

В умовах нечіткої оптимізації необхідно проводити моніторинг як робочих характеристик обладнання, так й якості сировини, води, опари, тіста, компонентів та хліба. Моніторинг робочих характеристик обладнання, якості води, сировини, опари, тіста дає змогу АРМО та ОПР використовувати інформацію для: аналізу достовірності миттєвих значень й вилучення не достовірних параметрів з бази даних (БД); накопичення значень розрахункових параметрів, які характеризують стан обладнання та його робочих характеристик для подальшого усереднення та аналізу тренду цих параметрів; усереднення значення кожного параметру (спочатку за хвилину, потім за годину); прогнозування на конкретні періоди часу  $T_1, T_2, \dots, T_n$  значення параметрів якості опари, тіста й витрат енергоносіїв.

За допомогою SCADA систем ІУКТП має засоби прийому інформації від пристроїв ручного вводу та ЕОМ верхнього рівня управління. Це дає змогу з АРМО вводити необхідні данні, які до цього часу не вдається одержати за допомогою автоматичних датчиків або пристроїв візуалізації та розпізнавання. Наприклад, результати лабораторних аналізів борошна, води щодо визначення свинцю, кадмію, миш'яку, мікротоксинів тощо, можуть бути визначені в хімічній лабораторії та передані до ЕОМ в ручному режимі. За допомогою інформаційної шини (ІШ) інформація з ЕС, СМРХО, СМЯ надходить до підсистем: підготовки сировини та приготування опари, приготування й оброблення тіста, випікання тістових заготовок, а також у систему ідентифікації динамічного стану процесу випікання тістових заготовок та

нейромережевий адаптивний коригувальник. Адаптивний корегувальник змінює уставки систем автоматизованого керування САК1, САК3, САК4, САК5, САК6, САУ6, САУ7 та САКУЛ нижнього рівня виробництвом хлібобулочних виробів по команді з ЕС. При чому в системі моніторингу якості є експертна система-програма, використовуючи знання експертів, приймає рішення про сорт борошна і якість води, що надходить у виробничий процес підготовки опари, а відповідно автоматично змінює структуру САК 2, САК 3, САУ 6. ЕС знаходиться у спеціалізованому модулі, який будемо називати «процесором експертних рішень» (ПЕР). Останній отримує вихідні дані безпосередньо з пам'яті програмованих логічних контролерів (ПЛК) окремих технологічних операцій та СМРХО й СМЯ.

При побудові систем СМРХО, СМЯ використано ряд теоретичних положень агентських технологій, розроблених авторами [3, 11, 12].

Система моніторингу робочих характеристик обладнання технологічних ліній з виробництва хлібобулочних виробів побудована на основі нейромережевої моделі. Вона може працювати як у режимі реального часу (on-line), так й у режимі запису (off-line). В основу розробленої моделі для особи що приймає рішення (ОПР) положено нейронну мережу прямого розповсюдження інформації [18]. Вона складається з вхідного, вихідного й трьох шарів нейронів. При цьому вихід нейрона у шарі (n+1) визначається співвідношенням:

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

де  $n+1$  – номер шару;  $j$  – індекс нейрона у шарі  $n+1$  ( $j = 1, N_{n+1}$ );  $N_{n+1}$  – кількість нейронів у шарі  $n+1$ ;  $f$  – активаційна функція шару  $n+1$ .

У нашому випадку для прихованого шару використовується сигмоїдальна активаційна функція виду:

$$f(x) = \frac{1}{(1 + e^{-\alpha x})}, \quad (3)$$

а для вихідного шару – лінійна:  $f(x) = \alpha x$ ;  $Y_j^{n+1}$  – вихід  $j$ -го нейрону шару  $n+1$ ;  $S_j^{n+1}$  – постсинаптичний потенціал  $j$ -го нейрону шару, який обчислюється відповідно до формули:

$$S_j^{n+1} = \sum_{k=1}^N W_{jk}^{n+1} Y_k^n + b_j^{n+1}, \quad S^{n+1} = W^{n+1} \tilde{Y}^n, \quad (4)$$

де  $W_{jk}^{n+1}$  – ваговий коефіцієнт зв'язку  $k$ -го нейрону шару з  $j$ -м нейронним шаром  $n+1$ ,  $Y_k^n$  – вихід  $k$ -го нейрону шару  $n$ ,  $\tilde{Y}^n$  – розширений вектор із врахуванням порогу (bias-нейрону);  $b_j^{n+1}$  – bias-нейрон  $j$ -го нейрону шару  $n+1$  [3].

Мета моніторингу робочих характеристик обладнання у реальному часі полягає у виявленні нормальних аномальних (аварійних) режимів роботи обладнання підприємства з виробництва хліба. З врахуванням цього, для кожного технологічного апарату будується й навчається нейронна мережа таким чином, щоб на виході одержувати значення характеристик обладнання на основі попередньої інформації. У цьому випадку результат роботи нейронної мережі у момент часу  $i+m+1$  визначається залежністю

$$y_{i+m+1} = f(C_{i+1}, \dots, C_{i+m}), \quad (5)$$

де  $f$  – на нелінійне перетворення, яке виконується нейронною мережею відповідно формулам(2,3);  
 $C_i$  – реалізація вимірювання характеристик обладнання;  
 $m$  – кількість реалізацій.

На основі кількості реалізацій, які були вірно прогнозовані нейронною мережею, ОПР може зробити висновок: чи відповідає поточна поведінка обладнання технологічної лінії з виробництва хліба раніш побудованій моделі. При цьому необхідно враховувати, що в процесі виробництва продукції з часом обладнання змінює свої робочі характеристики, а тому з метою забезпечення адаптації до змін необхідно постійно навчати нейронну мережу. Поточний моніторинг призначений для визначення нехарактерних ознак якості сировини та обладнання, наприклад, для сировини – зміна сорту пшеничної муки, зміна характеристик води, тиску газу, тощо. Цю інформацію будемо використовувати для побудови та навчання нейронної мережі, яка складає 30-50 ітерацій, а час навчання 10 сек.

Вихід нейронної мережі визначається співвідношенням:

$$y_i = f(C_i, O_i, h_i, d_i, S_i) \quad (6)$$

де  $i$  – умовний номер сеансу;  
 $f$  – нелінійне перетворення, яке виконується нейронною мережею відповідно до формул (1), (2);  
 $C_i$  – кількість змін параметрів борошна за добу;  
 $O_i$  – результати інтерактивної моделі (відсоток вірно прогнозованих параметрів);  
 $h_i$  – номер обладнання;  
 $d_i$  – результат контролю;  
 $S_i$  – час початку контролю.

При цьому очікуваний вихід  $d_i$  може приймати два значення: 1 – нормальний стан обладнання

(сировини); 0 - аномальна характеристика обладнання (сировини).

В цьому випадку нейронна мережа працює в якості класифікатора. Розглянемо принцип дії системи моніторингу виробництва хліба. Вона складається із наступних компонентів:

- агент 1 з інтерактивною моделлю обладнання, який працює в режимі реального часу;
- агент 2 з сенсовою моделлю оцінки якості сировини, води, енергоресурсів, який працює у автономному режимі (Off-line User Agent) ;
- агент 3 – контролер, який керує роботою інших агентів у системі;
- база даних (БД), яка має дані й параметри існуючих моделей.

Розглянемо кожен із компонентів, запропонованої системи моніторингу більш детально, визначеною на рис. 1 у вигляді блоків СМРХО й СМЯ.

Агент 1, який визначає інтерактивну модель робочих характеристик функціонує під час роботи машин і апаратів в режимі реального часу і дозволяє виявити відхилення від нормального режиму роботи обладнання. У процесі моніторингу даних (вологість борошна та його кислотність, вологість опари та її температура, час дозрівання, вологість та температура тіста, температура хліба тощо) агент прогнозує робочі характеристики які порівнюються з еталонними. Якщо за період  $T_{мон}$  – кількість прогнозованих режимів роботи (на протязі сеансу моніторингу) більше заданого порогу, то будемо вважати, що робоче становище (поведінка) машини, апарату, є нормальним, в іншому випадку – аномальний режим роботи технологічної лінії з виробництва хліба. Крім цього цей агент збирає і накопичує інформацію про робочі характеристики машин й апаратів за допомогою Aglets Software Development Kit (ASDK) [3]. Інформація зберігається у базі даних верхнього рівня управління хлібо заводом. Агент 2 з сенсовою моделлю, функціонує після завершення сеансу роботи системи моніторингу.

На основі збираної агентом 1 інформації СМРХО і СМЯ працюють в режимі реального часу. В той же час агент 2, що відпрацьовує сенсову модель, визначає, настільки відхилення робочих характеристик (параметрів) машин й апаратів були аномальними. Це визначається числом із проміжку (0-1), що вказує ймовірність нормальних режимів роботи машин та апаратів.

Агент 3-контролер відповідає за функціонування системи в цілому, керує роботою інших агентів, створенням різних типів агентів. У процесі одержання інформації із БД про параметри моделі, Агент 2 виконує перенавчання нейронної моделі. Цей період процесу моніторингу будемо називати адаптацією. Агент 3 одержує інтегровані дані про поведінку усіх машин й апаратів. Агент 2 також організує взаємодію в рамках системи моніторингу СМРХО з підсистемами ІУКТП, контролює їх функціонування, а також виконує спілкування між агентами.

Агент 3 доповнює базу даних новими даними про робочі характеристики машин і апаратів. Отже у базі даних зберігається інформація, яка необхідна інтелектуальній системі управління (ІУКТП) підприємства про робочі характеристики технологічних процесів виробництва хліба, електроспоживання, характеристики води, сировини, інших компонентів для функціонування й управління якістю продукції.

Довготермінові зміни робочих характеристик обладнання повинні бути враховані при проектуванні систем ІУКТП заводів з виробництва  $k$ - сортів хліба на рівні локальних фаззі-САК. Отже системи повинні адаптуватись в темпі з процесом надходження борошна, дріжджів, води, інших компонентів для приготування опари, а потім виробництва (випічки) хліба. На рис 2 наведено типову блок-схему адаптивної фази - системи керування параметрами опари, замісу та розділення готового тіста на порції заданої маси та випікання хліба. Адаптація виникає при тривалих і значних змінних параметрів якості борошна, води, дріжджів, олії, маргарину, інших компонентів та їх відхилення від заданих стандартами якості [14].

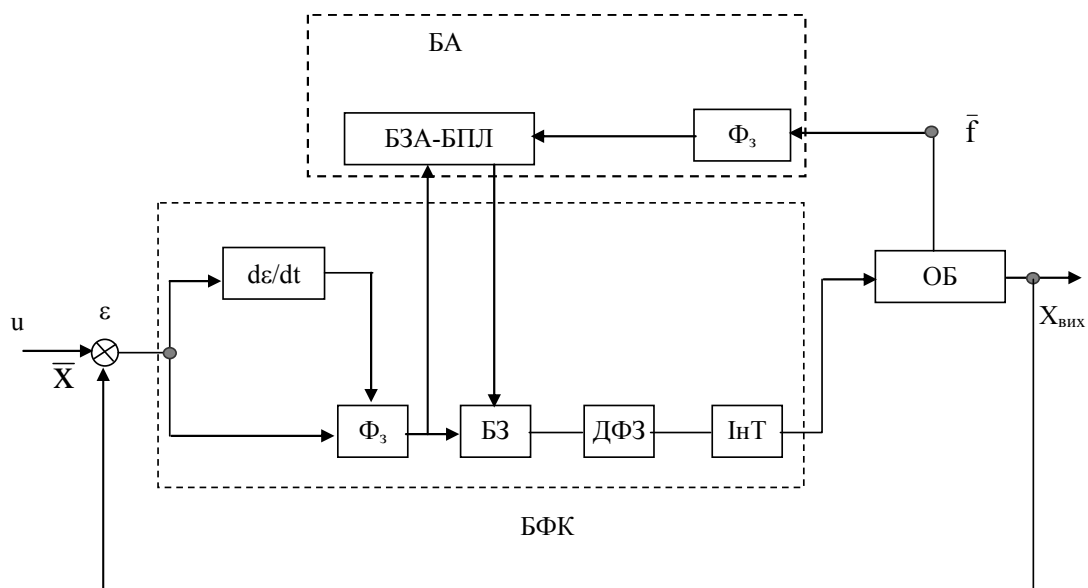


Рис. 2. Схема адаптивної фази-системи керування параметрами опари, замісу, розділення та випікання хліба

Системи автоматичного керування тістоприготувальним комплексом і операціями приготування опари й тіста та його випічки складаються з наступних блоків: блоку фаззи - керування (БФК), адаптивної САК з пристроями керування (ПК) і фаззи-регулятором (фазі – ПД – алгоритм – керування), Ф-фаззіфікатора, БПЛ – бази правил логічних, ОБ – об'єкта керування, БА – блока адаптації. Блок фаззи-керування складається із фаззіфікатора (ФЗ), бази знань (БЗ) і дефаззіфікатора (ДФЗ).

На вхід ФЗ основного каналу САК подаються сигнали помилки  $\varepsilon$ , при цьому  $\varepsilon = u - x$  і її похідної  $d\varepsilon/dt$  є функціями часу (тут і в подальшому аргумент  $t$  опущений). Диференціатор  $d\varepsilon/dt$  є обов'язковим на вході фаззи-ПК, так як похідна в часі вхідної змінної, як правило, існує у так названих декларативних логічних правилах БЗ. Інтегратор (ІнТ) добавлено для введення інтегральної складової при проектуванні ПД-фаззі-алгоритмів. В нашій схемі ПД-фаззірегулятор встановлений паралельно основному каналу фаззи-САК,

У ФЗ вхідні змінні перетворюються у терм-множину, які зображені, як правило, у вигляді функцій приналежності (ФН). Зміна помилки  $\varepsilon$  з відображенням ФН $\mu_\varepsilon$ , її похідна  $\varepsilon' = d\varepsilon/dt$  - відповідно ФН  $\mu'_\varepsilon$  і т.п. ФЗ у блоці адаптації (БА) перетворює сигнали від сенсорів збурень – елементів вектору  $f$  в команду-змінні параметрів приготування опари (випікання хліба) з рекомендаціями одержаними від ЕС, СМРХО, СМЯ для ОПР. Вектор  $f$  повинен враховувати інші параметри ОБ (робочі характеристики обладнання що одержані від агентів 1, 2) та якості сировини (СМЯ). Вектор збурень  $f$  складається з декількох компонентів, визначених ЕС, СМРХО, СМЯ, серед них:  $f1$  – співвідношення різних сортів борошна та його відхилення від еталонного значення записаного у вигляді правила «якщо ..., то ...»;  $f2$  – характеристики води та їх відхилення від заданих параметрів, записаних у ЕС у вигляді правил «якщо ..., то ...»;  $f3$  – оцінка параметрів швидкості змішування (із врахуванням властивості борошна) у тістомісильної машині;  $f4$  – вихідні величини режимів роботи пекарної камери (температура та вологість). Таким чином, розроблена концепція управління виробництвом хліба що ґрунтується на використанні у якості показників ефективності процесу (див. ф. 1) непрямих, нечітко визначених чинників  $\varepsilon$ ,  $u$ ,  $x$ ,  $f1$ -  $f4$  та інших. Ці показники дозволяють забезпечити формування сигналів завдання для локальних систем автоматичного керування. При виконанні обмежень збоку ЕС, СМРХО та СМЯ останні забезпечують задані динамічні характеристики об'єкту управління на базі розроблених адаптивних фаззи-систем керування параметрами опари, замісу, розділення та випікання хліба. Отже підхід до конструювання закону адаптації з врахуванням рекомендацій ЕС, СМРХО, СМЯ, ОПР дає змогу зменшити дисперсію коливань витрат енергоресурсів ( $We$ ) на 12–15 %, збільшити продуктивність виробництва високоякісного хліба на 5–7 % та зменшити час переналагодження обладнання і технологічних режимів роботи ліній з виробництва  $k$ -сортів хліба.

### Висновки

Розроблено інтелектуальну систему управління виробництвом різних сортів хліба, в якій аналіз збурень сировини, води та обладнання виконано за допомогою системи моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочного виробництва. 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 тістоприготувальним комплексом 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 САК, САУ дозволяє синтезувати нечіткі регулятори для елементарних операцій технологічних процесів виробництва хліба з врахуванням нелінійності об'єкту керування.

Доведено, що 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 оперативного персоналу в експертній системі управління, з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання, якості сировини і води, дозволяє побудувати робастні інтелектуальні системи управління хлібозаводом з оптимізацією його параметрів продуктивності та мінімізацією питомих енергозатрат.

### Література

1. Хроменков В.М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик / В.М. Хроменков. – СПб : ГЦОРД, 2014. – 496 с.
2. Соломенко М.М. Автоматические методы контроля некоторыми технологическими параметрами хлебопекарного производства / М.М. Соломенко. – М. : Машиностроение, 1972. – 200 с.
3. Скакун С.В. Реализация нейросетевой модели пользователей компьютерных систем на основе агентной технологии / С.В. Скакун, Н.Н. Куссуль, А.Г. Лобунец // проблемы управления и информатики. – 2005. – № 2. – С. 103-102.
4. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования / А.Т. Лисовенко. – К. :Техника, 1982. – 208 с.
5. Васьків М.В. Моніторинг та керування якості продукції агрегованих технологічних комплексів харчових виробництв / В.Г. Васьків, В.В. Іващук // Складні системи і процеси. – 2010. – № 1. – С. 77–83.

6. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов, А.І. Українець та ін. – Вінниця : «Нова книга», 2007. – 640 с.
7. Стивенсон Вильям Дж. Управление производством / Вильям Дж. Стивенсон ; пер. с англ. – М. : ООО «Издательство Лаборатория Базовых Знаний», ЗАО «Издательство БИНОМ», 1998. – 928 с.
8. Дафт Р. Современные системы управления / Ричард Дафт, Роберт Бишоп. – М. : Лаборатория базовых знаний. 2004. – 833 с.
9. 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.
10. Tolfo F. An introduction to modular batch automation / Tolfo F. // Control Engineering. – 1989. 36-N9, p. 216–218.
11. Білик О.А. Удосконалення технологій хлібобулочних виробів з борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01. / О.А. Білик / Національний ун-т харчових технологій. – К., 2006. – 212 с.
12. Бондар І.П. Розроблення технологій хліба з борошняних сумішей підвищеної харчової цінності : дис. ... канд. наук 05.18.01. / І.П. Бондар / Національний ун-т харчових технологій – К., 2003 – 232 с.
13. Гавриш Т.В. Удосконалення технологій хліба зі слабого пшеничного борошна : дис. ... канд. техн. наук 05.18.01. / Т.В. Гавриш / Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2005 – 165 с.
14. ДСТУ 4588:2006. Вироби хлібобулочні для спеціального дієтичного споживання. Загальні технічні умови / Офіц. Вид. – К. : Держспоживстандарт України, 2006-III. – 23 с.
15. ДСТУ 7044:2009. Вироби хлібобулочні. Укладання, зберігання і транспортування – Офіц. вид. – К. : Держспоживстандарт України, 2009-III. – 5 с.
16. Agent technology: Enabling next generation computing / Luck M., McBurney P., Preist C. – N.Y. : Agent Link. 2003. – 94 p.
17. Wooldridge M. An introduction to multiagent systems / M. Wooldridge. – Chichester, England: John Wiley Sons, 2002. – 366 p.
18. Хорольський В.П. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / В.П. Хорольський. – Дніпропетровськ : «Січ», 2008. – 448 с.

Рецензія/Peer review : 3.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: Рецензент: д.т.н., проф. Жуков Г.О.