

УДК 681.51:664.65(045)

*Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор<sup>1</sup>*  
*Клюєв Д. Ю., канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>*  
*Коржов С. М., студент<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: klyuev.d.yu@donnuet.edu.ua

### СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ З МОНІТОРИНГОМ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА

UDC 681.51:664.65(045)

*Khorolskyi V. P., Grand PhD in Engineering sciences, Professor<sup>1</sup>*  
*Klyuev D. Yu., PhD in Engineering sciences, Associate Professor<sup>1</sup>*  
*Korzhov S. M., Student<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryvyi Rih, Ukraine), email: klyuev.d.yu@donnuet.edu.ua

### CONTROL SYSTEM OF EQUIPMENT WITH MONITORING OF THE OPERATING CHARACTERISTICS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF BREAD PRODUCTION

**Мета.** Метою роботи є підвищення ефективності управління виробництвом хліба для територій з техногенним забрудненням шляхом застосування систем моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання та адаптивного управління на основі інтелектуального середовища автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП).

**Методи.** У роботі застосовано загальноприйняті принципи побудови нейроно-мережових, багатоагентських систем для моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання для виробництва хліба. У процесі розробки архітектури інтелектуального середовища АСУТП виробництва хліба використано методики побудови бази даних, бази знань та експертних систем підтримки прийняття рішень.

**Результати.** Одержано багатоцільову оптимізацію процесу виробництва хліба на базі технологій агентських систем, інтелектуального середовища АСУТП та моніторингу робочих характеристик обладнання з адаптивним корегувальником й ПІД нечіткими регуляторами. Вперше у загальній архітектурі інтелектуального середовища АСУТП виробництва хліба використано багатоагентні системи, що у реальному часі оцінюють робочі характеристики обладнання, розпізнають аномальні ситуації та змінюють вставки локальних систем управління робототехнологічним комплексом приготування опари, тіста та випічки хліба. Отримані результати можуть бути використані для підвищення якості хліба для населення, що мешкає на територіях із техногенним тиском. Підвищено ефективність управління виробництвом продукції за рахунок діагностики збурення сировини, води й обладнання та моніторингу робочих характеристик робототехнологічних систем управління тістопідготовчим комплексом АСУТП з експертними системами підтримки прийняття рішень.

**Ключові слова:** моніторинг, процес, експертна система, адаптація, ПІД регулятори, інтелектуальне управління.

**Постановка проблеми.** Трансформація української харчової промисловості у якісно новий стан розвитку до 2030 р. пов'язана із адаптацією до складних та постійно змінюваних умов ринку. Досягненню її конкурентних переваг буде сприяти впровадження прогресивних технологій, механізація й енергоефективність та автоматизація й роботизація технологічних процесів виробництва продукції. Велике значення при цьому набуває роз-

Надійшла до редакції 11.04.2017 р.

© В. П. Хорольський, Д. Ю. Клюєв,  
С. М. Коржов, 2017

робка та впровадження автоматизованих систем управління з діагностикою обладнання і моніторингу робочих характеристик технологічних процесів.

Технологічне обладнання за характером і впливом на сировину або напівфабрикати може бути розділено на машини та 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. Технологічна лінія з виробництва хліба, починаючи від завантаження муки до одержання готової продукції, являє собою складну динамічну систему із розподіленими в часі параметрами управління; характеризується затримкою у 9–10 годин, а отже, є об'єктом досліджень з позиції розробки робототехнологічного обладнання, систем моніторингу робочих характеристик та впровадження енергоефективних технологій виробництва хліба.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробка технологій виробництва екологічно безпечної продукції для населення, що мешкає на територіях із техногенним забрудненням, ставить перед менеджерами підприємств такі завдання:

- вибір ефективних шляхів, що надають швидкий економічний ефект;
- підвищення продуктивності хлібобулочного виробництва та якості продукції з одночасним зменшенням її собівартості, надійного функціонування основного технологічного обладнання.

Це може бути виконано за рахунок розробки та впровадження багаторівневих АСУТП з контурами оцінки якості продукції й моніторингу робочих характеристик обладнання; виробництва продукції, яка відповідає державним стандартам України та країн ЄС [1].

Проведений аналіз відомих технологій виробництва хлібобулочних виробів дозволив зробити висновок, що таке 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 та діагностики технологічного обладнання хлібобулочних заводів з адаптивним контролем і управлінням якістю продукції [4]. Розробкою адаптивних систем управління займалися С. С. Шаруда [5], С. М. Щвед, І. В. Ельперін [6]. У їх роботах доведено, що за рахунок впровадження АСУТП виробництва продукції значно покращуються вихідні показники хлібопекарських виробництв. У той же час для виробництва продуктів харчування для територій із високим забрудненням необхідно додати чинники інтелектуального управління підприємствами харчової промисловості з контурами моніторингу якості й робочих характеристик обладнання на базі агентських систем. Це дозволяє виробляти екологічно безпечну продукцію з інноваційними характеристиками. Отже, розробка систем інтелектуального управління й моніторингу технологічного обладнання та якості сировини і продукції на базі агентських систем з метою ефективного управління нестационарними об'єктами є актуальним науковим завданням.

**Мета статті.** Таким чином, метою роботи є підвищення ефективності управління виробництвом хліба для територій із техногенним тиском шляхом застосування систем моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання та адаптивного управління на основі інтелектуального середовища АСУТП.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сучасні системи автоматизованого управління, контролю і діагностики технологічних процесів виробництва хліба відносяться до складних, динамічних, багаторівневих систем, в яких знання про нечіткі характеристики об'єкта управління і навколишнього середовища (в якому працює підприємство) формуються у процесі навчання й адаптації. Одержана при цьому інформація використовується у системах автоматичного прийняття рішень таким чином, що ефективність управління технологічними апаратами, машинами й технологічними лініями з виробництва *N*-видів продукції й підприємства в цілому покращується [1].

Поточні лінії хлібопекарного виробництва складаються з  $n$  елементарних технологічних операцій в яких особа, що приймає рішення (ОПР), взаємодіє з операторами та експертними системами підтримки оптимальних рішень.

Багатоцільову оптимізацію процесу виробництва хліба запишемо таким чином:

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

при обмеженнях:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max} \\ y_{i\min} \leq y_i \leq y_{i\max} \end{array} \right., \quad (1)$$

де  $x_{i\min}, \dots, x_{i\max}$  й  $y_{i\min}, \dots, y_{i\max}$  — діапазони зміни робочих характеристик машин та апаратів і параметрів процесу виробництва хліба (балансові обмеження);  $y_i(x_i)$  — функціонали, що відображують взаємозв'язки параметрів технологічних процесів виробництва хліба (структурні обмеження);  $W_e(x_i, y_i)$  — енергетичні параметри виробництва однієї тонни хліба;  $Q_{\text{хліб}}$  — якість хліба що відповідає державним стандартам України та країн ЄС.

В умовах нечіткої оптимізації необхідно проводити моніторинг як робочих характеристик обладнання, так і якості сировини, води, опари, тіста, компонентів та хліба. Моніторинг робочих характеристик обладнання, якості води, сировини, опари, тіста дає змогу ОПР використовувати інформацію для: аналізу достовірності миттєвих значень й вилучення недостовірних параметрів з бази даних (БД); накопичення значень розрахункових параметрів, які характеризують стан обладнання та його робочих характеристик для подальшого усереднення й 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.

Загальна архітектура інтелектуального середовища АСУТП виробництва хліба наведена на рис. 1. Термін «інтелектуальне середовище» (Ambient Intelligence) слугує для позначення штучних середовищ, що взаємодіють із операторами ОПР та автоматизованими робочими місцями. У роботі [1] сформульована концепція побудови штучного інтелектуального середовища як багатоагентної системи. Моніторинг робочих характеристик обладнання пов'язаний з його діагностикою. У загальній архітектурі інтелектуального середовища ключову роль відіграють апаратні засоби реалізації обчислень (Ubiquitous Computing), засоби автоматизованих вимірювань й оцінок, які віднесені до SCADA систем [3] з автоматизованими процесами випічки хліба, приводами виконавчих механізмів, ПІД регуляторами, алгоритмами адаптації та робототехнологічними комплексами приготування опари і тіста. У загальній архітектурі інтелектуального середовища важливу роль відіграють:

- локальні системи;
- інтелектуально-інформаційні системи;
- технології експертного оцінювання та підтримки прийняття рішень ОПР;
- системи діагностики обладнання та технологічних робочих характеристик;
- системи розпізнання, діагностики та розвитку аномальних ситуацій.

У процесі аналізу поточного стану об'єкта управління (ОУ) й побудови моделі оперативної діяльності створюються: база даних (БД), база знань (БЗ) та експертні системи підтримки прийняття рішень (ЕСППР).

До інтелектуального середовища включено оперативний рівень, апаратні засоби, операційні системи й об'єкти моніторингу робочих характеристик та управління виробництвом хліба. Інтелектуальне середовище АСУТП взаємодіє з «on-line user agent». При побудові інтелектуального середовища АСУТП використано низку теоретичних положень агентських технологій, розроблених авторами [3; 7–9].

Розглянемо детальніше основні поняття агентської теорії для реалізації процесів моніторингу складних технологічних процесів виробництва хліба, якості вхідної сировини та готової продукції. При реалізації систем моніторингу необхідно врахувати таке: тех-

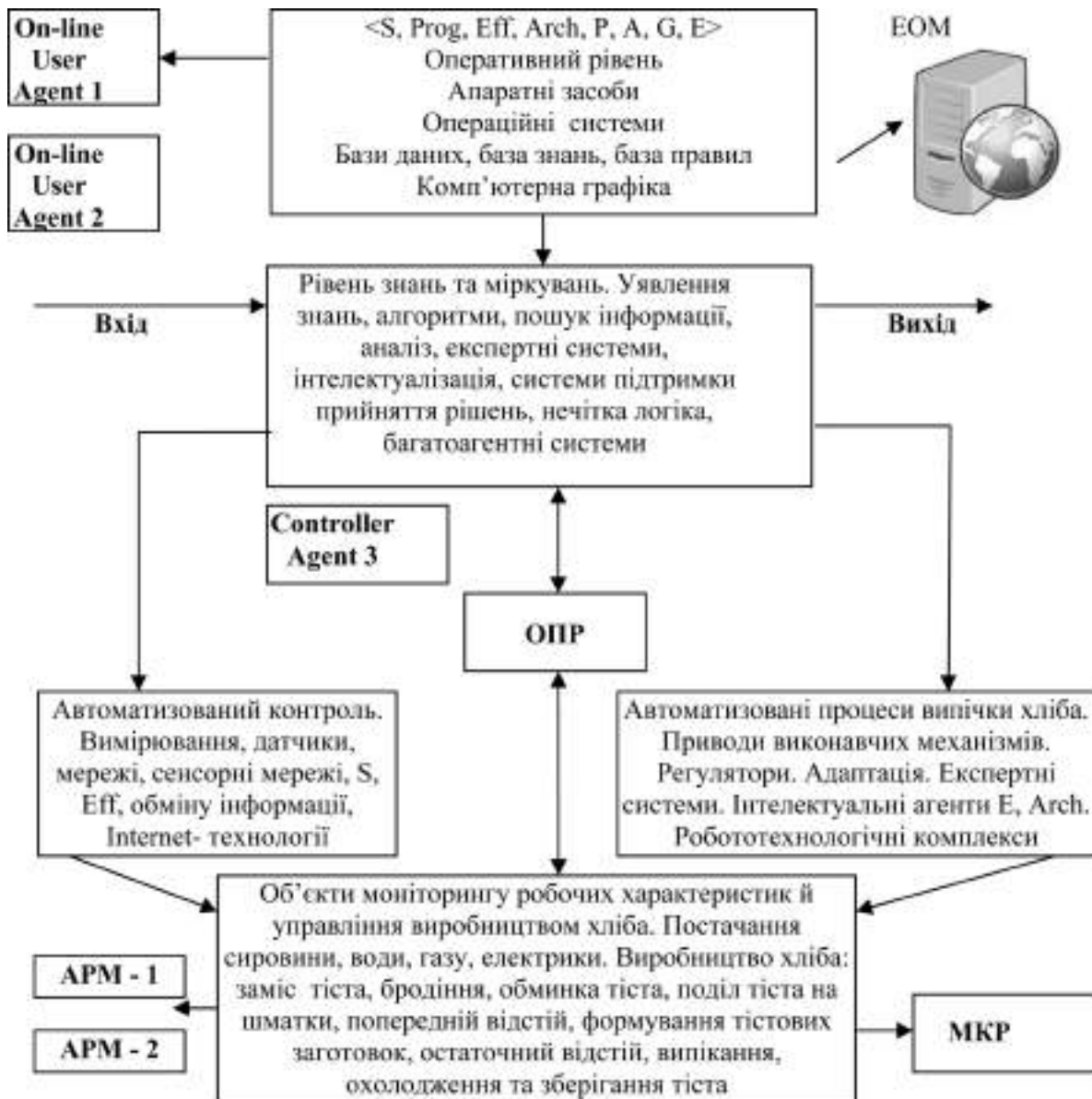


Рисунок 1 — Загальна архітектура інтелектуального середовища АСУТП виробництва хліба

нологічні процеси автоматизованого виробництва хлібобулочних виробів являють собою розподілену в просторі низку послідовних операцій із гетерогенними характеристиками. Кожна технологічна операція може бути описана математичною моделлю з множиною вхідних-вихідних параметрів  $\{X\}$ ,  $\{Y\}$  і управлінських та збурюючих впливів. Будемо вважати, що агент — це суб'єкт, який може приймати інформацію із зовнішнього середовища та своєчасно реагувати на зовнішні збурення. Формальний опис агента виконано авторами роботи [3], який визначається таким набором:

$$\langle S, \text{Prog}, \text{Eff}, \text{Arch}, P, A, G, E \rangle, \quad (2)$$

де E (environment) — зовнішнє середовище, в якому функціонує агент; S (sensors) — множина входів, за допомогою яких агент одержує інформацію із зовнішнього середовища; Prog. (program) — функція, що визначає залежність реакції агента від вхідних впливів; Eff (effectors) — множина виходів; Arch (architecture) — фізична оболонка, що об'єднує усі базові елементи агента; P (percepts) — інформація, яку одержує агент; A (actions) — реакція агента; G (goal) — ціль, яку може досягти агент.

При цьому Prog.:  $P@A$ ; а набір  $\{S, \text{Prog}, \text{Eff}, \text{Arch}\}$  — визначає базову конструкцію агента; чинники  $\{P, A, G, E\}$  — визначають змістовне «наповнення», де E — багатомірна система об'єктів, робочих характеристик, технологічних режимів тощо. Агенти мають

деякі характерні властивості: автономність; реактивність (властивість агента реагувати на зміни у зовнішньому середовищі за визначений період часу); активність (властивість агента вирішувати поставлені задачі), тобто властивість взаємодіяти (спілкуватися) з іншими агентами (можливо із людиною) за допомогою мови спілкування агентів (ACL — Agent Communication Language); мобільність (властивість агентів рухатись у зовнішньому середовищі); адаптивність (властивість агентів адаптуватися до зовнішнього середовища). Для реалізації системи моніторингу робочих характеристик будемо використовувати програмні агенти (soft agents). Вони являють собою комп'ютерні програми та функціонують у виді комп'ютерних систем у інтелектуальному середовищі АСУТП. Для програмного агента Е це комп'ютерна система; Arch — це програма (код); S та Eff — деякі функції, за допомогою яких агент обмінюється інформацією із зовнішнім середовищем. На рис. 1 наведено загальну архітектуру інтелектуального середовища АСУТП виробництва хліба.

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), покладено нейронну мережу прямого розповсюдження інформації [10]. Вона складається з вхідного, вихідного й трьох шарів нейронів. При цьому вихід нейрона у шарі  $(n + 1)$  визначається співвідношенням:

$$Y_j^{n+1} = f(S_j^{n+1}), \quad (3)$$

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:

$$f(x) = \frac{1}{(1 + e^{-ax})}, \quad (4)$$

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

$$S_j^{n+1} = \sum_{k=1}^N W_k^{n+1} Y_k^n + b_j^{n+1}, \quad S^{n+1} = W^{n+1} \tilde{Y}^n, \quad (5)$$

де  $W_{jk}^{n+1}$  — ваговий коефіцієнт зв'язку  $k$ -го нейрону шару з  $j$ -м нейронним шаром  $n+1$ ,  $Y_j^n$  — вихід  $k$ -го нейрону шару  $n$ ,  $\tilde{Y}^n$  — розширений вектор з урахуванням 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 урахуванням 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

$$y_{i+m+1} = f(C_{i+1}, \dots, C_{i+m}), \quad (6)$$

де  $f$  — нелінійне перетворення, яке виконується нейронною мережею відповідно (3), (4);  $C_i$  — 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 пшеничного борошна, 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 с.

Вихід нейронної мережі визначається співвідношенням:

$$y_i = f(C_i, O_i, h_i, d_i, S_i), \quad (7)$$

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).

У цьому випадку нейронна мережа працює як класифікатор. Розглянемо принцип дії системи моніторингу виробництва хліба. Вона складається із таких компонентів:

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

АСУТП виробництва хліба, за допомогою SCADA систем, має засоби прийому інформації від пристроїв ручного вводу та ЕОМ верхнього рівня управління. Це дає змогу операторам із пультів автоматизованих робочих місць (АРМ) вводити необхідні дані, 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 у хімічній лабораторії та передані до ЕОМ в ручному режимі. Інформація з експертних систем (ЕСППР) та систем управління якістю (СУЯ) надходить до робототехнологічного комплексу: підготовки сировини та приготування опари, приготування й оброблення тіста, випікання тістових заготовок, а також до системи ідентифікації динамічного стану процесу випікання тістових заготовок з нейромережевим адаптивним коригувальником. Адаптивний корегувальник змінює уставки регуляторів локальних систем автоматизованого управління. Типову схему локальної системи з нейромережевим коригувальником наведено на рис. 2.

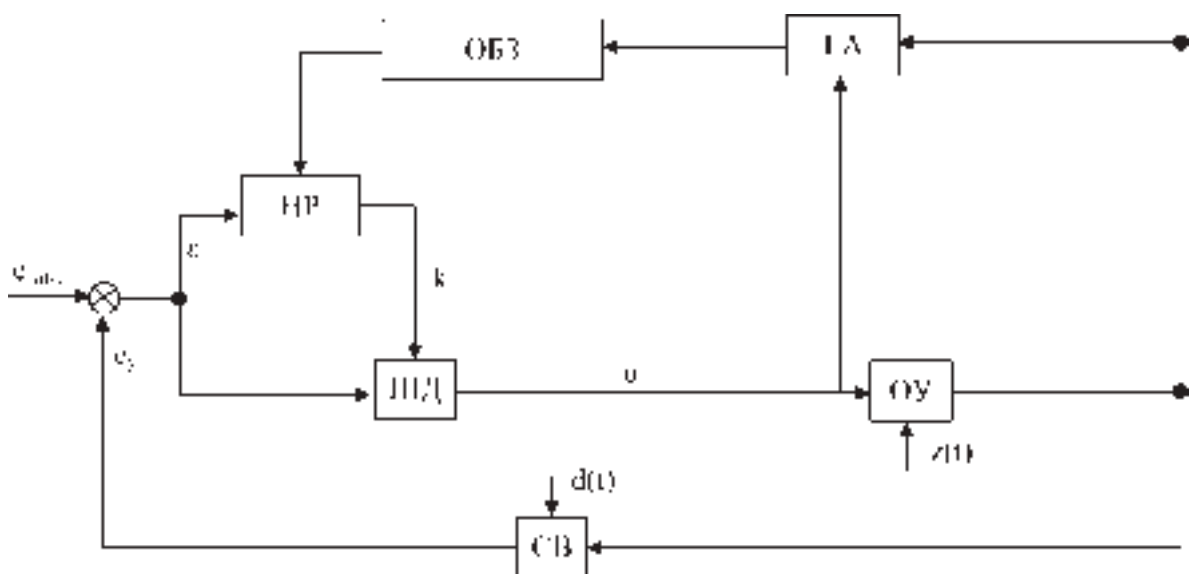


Рисунок 2 — Схема типової адаптивної системи управління параметрами опари, замісу, розділення та випікання хліба з нейромережевим коригувальником

Локальні системи управління нижнього рівня АСУТП доповнені системами моніторингу робочих характеристик обладнання (СМРХО) та якості продукції.

Розглянемо СМРХО у загальній архітектурі інтелектуального середовища АСУТП виробництва хліба.

Агент 1, який визначає інтерактивну модель робочих характеристик, функціонує під час роботи машин і апаратів у 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  $T_{\text{мон}}$  кількість прогнозованих режимів роботи (впродовж сеансу моніторингу) більше заданого порогу, то будемо вважати, що робочий стан (поведінка) машини, апарату є нормальним, в іншому випадку — аномальний режим роботи технологічної лінії з виробництва хліба. Крім цього, цей агент збирає і накопичує інформацію щодо робочих характеристик машин і апаратів за допомогою Aglets Software Development Kit (ASDK) [3]. Інформація зберігається у базі даних верхнього рівня управління хлібозаводом. Агент 2 із сеансовою 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 сеансову модель, визначає, настільки відхилення робочих характеристик (параметрів) машин і апаратів були аномальними. Це визначається числом із проміжку (0–1), що вказує ймовірність нормальних режимів роботи машин і апаратів.

Агент 3-контролер відповідає за функціонування системи в цілому, управляє 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 АСУТП, контролює їх функціонування, 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 (АСУТП) 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 мають бути враховані при проектуванні систем АСУТП заводів з виробництва к-сортів хліба на рівні локальних САК. Отже, системи повинні адаптуватися в темпі з процесом надходження борошна, дріжджів, води, інших компонентів для приготування опари, а потім виробництва (випічки) хліба. Адаптація необхідна при врахуванні тривалих і значних змін параметрів якості борошна, води, дріжджів, олії, маргарину, інших компонентів та їх відхилення від заданих стандартами якості [1; 4].

На основі агентських технологій авторами розроблено систему діагностики обладнання ПАТ «Криворіжхліб», яка побудована на базі інструментарію Diagnose Tools [10]. Система діагностики наведена на рис. 3.

Вона виконує такі завдання:

- Simovis — діагностика та оцінка параметричних даних статичних перетворювачів частоти Simovert Master Drive;
- DIGSI — обслуговування, діагностика, аналіз експлуатаційних даних та чинників про випадки виходу обладнання з ладу;
- централізована діагностика та параметрична оцінка мережі виробництва хліба;
- параметрична оцінка цифрових регулювальних пристроїв SIMADYN D;
- діагностика пристроїв управління SIMATIC S7 та студійної шини P.

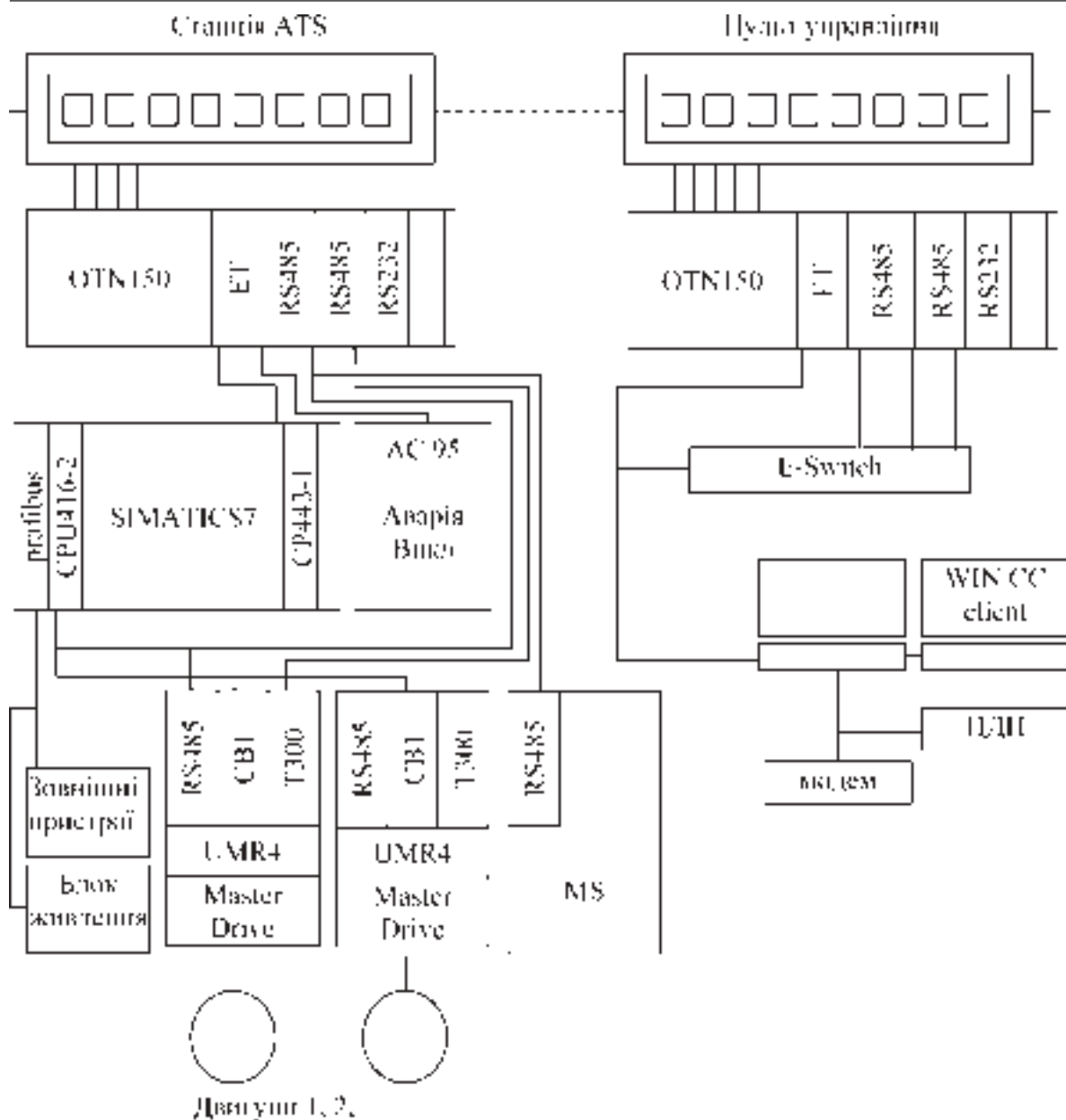


Рисунок 3 — Система діагностики обладнання ПАТ «Криворіжжліб»

Операторський інтерфейс системи моніторингу робочих характеристик обладнання взаємодіє із системою діагностики. При цьому ОПР одержує інформацію про розвиток аномальних ситуацій, відмовлення обладнання, відхилення робочих характеристик за межі норм.

Агент 1 виконує логічний висновок про причину появи аномальних ситуацій, а агент 2 виконує логічний висновок про спосіб відновлення працездатності обладнання. Агент 3, інтелектуально взаємодіючи з ЕСППР, визначає оптимальну траєкторію відновлення працездатності обладнання.

У процесі оцінки робочих характеристик агентська система на базі SIMATIC S7 контролює: підготовку води з параметрами  $t_0$  і температуру тіста  $t_m$ , початкову температуру опари після замісу, що не повинна перевищувати  $24\text{ }^\circ\text{C}$ ; процес підготовки дріжджів та взаємодіє з робототехнологічним комплексом.

Системи автоматичного управління робототехнологічним комплексом приготування опари й тіста та його випічки складаються з таких блоків: блок нечіткого регулювання (НР), ПІД регулятор, об'єкт управління (ОУ), ОБЗ — оптимізатор баз знань, ГА — генетичний алгоритм, СВ — система вимірювання,  $k$  — коефіцієнт ПІД регулятора,  $u$  —



управлінський вплив регулятора на ОУ,  $e_{зад}$  — сигнал завдання,  $e_y$  — величина регулювання,  $\varepsilon$  — помилка управління,  $d(t)$  — затримка у системі вимірювання,  $z(t)$  — зовнішній вплив середовища.

Таким чином, розроблена концепція інтелектуального середовища АСУТП виробництва хліба з діагностикою обладнання, моніторингу робочих характеристик, що ґрунтуються на технологіях агентських систем та робототехнологічних комплексів. Вона дозволяє одержати задані динамічні характеристики об'єкта управління на базі розроблених адаптивних систем коригування ПІД регуляторів, управління параметрами опари, замісу, розділення та випікання хліба. Отже, підхід до побудови АСУТП виробництва хліба 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 автоматизовану систему управління виробництвом різних сортів хліба, в якій аналіз збурень сировини, води й обладнання виконано за допомогою системи моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочного виробництва та системи діагностики. Системи моніторингу робочих характеристик обладнання та якості води, сировини, опари, тіста виконано на основі агентських технологій, що дає можливість на базі адаптивних регуляторів побудувати робототехнологічні системи управління тістоприготувальним комплексом та випіканням хліба.

Розроблено загальну архітектуру інтелектуального середовища АСУТП з агентськими технологіями розпізнання аномальних ситуацій та синтезовано адаптивні регулятори виробництва хліба.

Запропонований підхід до побудови АСУТП з інтелектуальним середовищем дозволить підвищити ефективність виробництва хлібобулочних виробів для техногенних територій.

### Список літератури/References

1. 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.

Khorolskyi, V. P. (2016). *Intelektualna systema upravlinnya ta monitorynhu robochykh kharakterystyk tekhnolohichnoho obladnannya khlіbobulochnykh zavodiv* [Intellectual control system and monitoring of technological equipment of bakery plants]. *Visnyk Khmelnytskyi national university. Tekhnichni nauky* [Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences], no. 6, pp. 55–62.

2. Соломенко, М. М. Автоматические методы контроля некоторыми технологическими параметрами хлебопекарного производства / М. М. Соломенко. — М. : Машиностроение, 1972. — 200 с.

Solomenko, M. M. (1972). *Avtomaticheskiye metody kontrolya nekotorymi tekhnologicheskimi parametrami khlebopekarnogo proizvodstva* [Automatic methods of control of certain technological parameters of bakery production]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 200 p.

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. 3–102.

Skakun, S. V., Kussul, N. N., Lobunec, A. G. (2005). *Realizatsiya neyrosetevoy modeli polzovateley kompyuternykh sistem na osnove agentnoy tekhnologii* [Realization of neural network model of users of computer systems based on agent technology] *Problemy upravleniya i informatiki* [Problems of management and informatics], no. 2, pp. 3–102.

4. Васьків, М. В. Моніторинг та керування якістю продукції агрегованих технологічних комплексів харчових виробництв / В. Г. Васьків, В. В. Івашук // Складні системи і процеси. — 2010. — №1. — С. 77–83.

Vaskiv, M. V., Ivashuk, V. V. (2010). *Monitorynh ta keruvannya yakosti produktsiyi ahrehovanykh tekhnologichnykh kompleksiv kharchovykh vyrobnytstv* [Monitoring and control of product quality aggregate technological systems of food production]. *Skladni systemy i procesy* [Complex systems and processes], no. 1, pp. 77–83.

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

Sharuda, S. S., Kishenko, V. D. (2010). *Intelektualjna systema scenarnogho upravlinnja khlibopekarsjkyvm vyrobnytvtvom* [Intellectual management of bakery production scenario]. *Skhidno-Jevropejsjkyj zhurnal peredovykh tekhnologhij* [Easten-European Journal of advanced technologies], no. 5/3, vol. 47, pp. 66–70.

6. Швед С. М. Системний аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів / С. М. Швед, І. В. Ельперін // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2012. — №6/3 (60). — С. 44–46.

Shved, S. M., Elperin, I. V. (2012). *Systemnyy analiz tekhnologichnoho protsesu vyrobnytstva khlibobulochnykh vyrobiv* [A systematic analysis of the technological process of bakery products]. [Easten-European Journal of advanced technologies], no. 6/3, vol. 60, pp. 44–46.

7. Tolfo, F. (1989). An introduction to modular batch automation. *Control Engineering*, no. 9, vol. 36, p. 216–218.

8. Luck, M., McBurney, P., Preist, C. (2003). *Agent technology: Enabling next generation computing*. N. Y., Agent Link, 94 p.

9. Wooldridge, M. (2002). *An introduction to multiagent systems*. Chichester, England, John Wiley Sons, 366 p.

10. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу: монографія / В. П. Хорольський. — Дніпропетровськ : Січ, 2008. — 448 с.

Khorolskyi, V. P. (2008). *Integhrovane intelektualjne upravlinnja tekhnologichnymu procesamy v ekonomichnykh systemakh korporatyvnykh pidprijemstv ghirnycho-metalurghijnogho kompleksu* [Integrated intellectual process control in economic systems of corporate mining and metallurgical complex]. Dnipropetrovsk, Sich, 448 p.

**Цель.** Целью работы является повышение эффективности управления производством хлеба для территорий с техногенным загрязнением путем применения систем мониторинга рабочих характеристик технологического оборудования и адаптивного управления на основе интеллектуальной среды АСУТП.

**Методы.** В работе применены общепринятые принципы построения нейросетевых, многоагентских систем для мониторинга рабочих характеристик технологического оборудования для производства хлеба. В процессе разработки архитектуры интеллектуальной среды АСУТП производства хлеба использованы методики построения базы данных, базы знаний и экспертных систем поддержки принятия решений.

**Результаты.** Получена многоцелевая оптимизация процесса производства хлеба на базе технологий агентских систем, интеллектуальной среды АСУТП и мониторинга рабочих характеристик оборудования с адаптивным корректировщиком и ПИД-нечеткими регуляторами. Впервые в общей архитектуре интеллектуальной среды АСУТП производства хлеба использованы многоагентские системы, в реальном времени оценивающие рабочие характеристики оборудования, распознающие аномальные ситуации и меняющие вставки локальных систем управления робототехнологическим комплексом приготовления опары, теста и выпечки хлеба. Полученные результаты могут быть использованы для повышения качества хлеба для населения, проживающего на территориях с техногенным загрязнением. Повышена эффективность управления производством продукции за счет диагностики возмущения сырья, воды, оборудования и мониторинга рабочих характеристик робототехнологических систем управления тестоподготовительным комплексом АСУТП с экспертными системами поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** мониторинг, процесс, экспертная система, адаптация, ПИД регуляторы, интеллектуальное управление.

**Objective.** *The aim of the work is to increase the managing efficiency of bread production for territories with technogenic pollution, by applying monitoring systems for the operating characteristics of technological equipment and adaptive management based on the intelligent environment of the automated process control system.*

**Methods.** *The generally accepted principles of construction of the neuronnetwork, multiagent systems for monitoring of operating characteristics of the technological processes of bread production are applied in the work. In the process of development of architecture of intellectual environment of ASUTP of bread production the methods of construction of database, bases of knowledges and expert decision support systems are used.*

**Results.** *The multipurpose optimization of the bread production process based on the technologies of the agent systems, intellectual environment of the automated process control system and monitoring of the operating characteristics of equipment with the adaptive corrector and PID fuzzy regulators is obtained. For the first time in the general architecture of the intellectual environment of the automated process control system for bread production, multiagent systems are used that in real time assess the operating characteristics of equipment, recognize abnormal situations and change the settings of local control systems of a robot technology complex for cooking predough, dough and bread baking. The obtained results can be used to improve the quality of bread for the population living on the territories with technogenic pollution. The production management efficiency is improved due to diagnostics of the disturbance of raw materials, water, equipment and monitoring of the performance characteristics of the robotic technological control systems of the dough preparation ASUTP complex with expert decision support systems.*

**Keywords:** *monitoring, process, expert system, adaptation, PID regulators, intellectual control.*