

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-42-1-128-139

УДК 664.512.011.56:681.3

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

Коренець Ю. М., старший викладач¹

Копайгора О. К., асистент¹

Заїкіна Д. П., асистент¹

Петрушина Ю. М., магістрантка¹

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

МЕТОДИ ТА ФУНКЦІЇ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В АСУ-АСУТП ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

UDC 664.512.011.56:681.3

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

Korenets Yu. M., Senior Lecturer¹

Kopayhora O. K., Assistant Professor¹

Zaikina D. P., Assistant Professor¹

Petrushyna Yu. M., Master's Degree student¹

¹ Mykhailo Tuhan-Baranovskiy Donetsk National University of Economics and Trade, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

METHODS AND FUNCTIONS OF TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL IN ACS-APCS OF FOOD PRODUCTIONS

Мета. Метою статті є розробка методів і функцій керування технологічними процесами в автоматизованих системах управління виробництвом SMART-продуктів харчування.

Методи. Методичну основу досліджень складають: методи дослідження ідентичності технологічних процесів харчових виробництв за фізико-хімічною природою, наявності матеріальних і енергетичних внутрішніх зв'язків, що дозволяє побудувати математичні моделі, базу даних, базу знань як дискретних, безперервно дискретних процесів, так і безперервних процесів виробництва за допомогою автоматизованих інформаційних систем; використання методів теорії системного аналізу (для структурної декомпозиції процесів виробництва SMART-продуктів харчування), теорії ідентифікації систем, теорії цифрової обробки сигналів з метою проектування мікропроцесорних систем керування нижнього рівня.

Результати. Розроблено методологію проектування багаторівневих АСУТП хлібозаводів з виробництвом видів продукції, верхній рівень яких забезпечує функції цифровізації: стратегічного та оперативного планування, зв'язків з постачальниками та споживачами продукції в реальному масштабі часу; прийняття рішень щодо гнучкого оновлення та адаптації продукції до змін її споживчих характеристик; зниження собівартості та ресурсомісткості виробництва хлібобулочних виробів з підвищенням екологічності за рахунок оптимізації роботи обладнання в режимі реального часу та розробки інноваційних SMART-продуктів для регіонів із забрудненими територіями. Доведено, що узгоджене пряме цифрове керування локальними системами та інформаційне забезпечення диспетчерського MES-управління дозволяє оптимізувати траєкторію виробництва видів продукції в умовах зміни якості сировини (борошна) та робочих параметрів обладнання із вбудованими робототехнологічними комплексами.

Надійшла до редакції 26.03.2021 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,
О. К. Копайгора, Д. П. Заїкіна,
Ю. М. Петрушина, 2021

Ключові слова: технологічний процес, АСУ, АСУТП, цифрові системи, реальний масштаб часу, оптимізація.

Постановка проблеми. Технологічні процеси харчових виробництв відносяться до складних технологічних процесів з високим рівнем невизначеності. Основним критерієм, за яким їх відносять до того чи іншого типу, є ідентичність цих процесів щодо фізико-хімічної природи, наявності матеріальних і енергетичних внутрішніх зв'язків.

Одним із ознак класифікації харчових технологічних процесів є їх поділ на дискретні, безперервні, безперервно-дискретні процеси. Технологічні процеси харчової промисловості розділяють за фізичною природою, конструктивним оформленням, способами керування, ідентифікацією обробки і передачею інформації. Відповідно до теорії систем виокремимо типові технологічні процеси харчової промисловості: механічні, гідродинамічні, теплообмінні, масообмінні, термодинамічні, дифузійні, хімічні та мікробіологічні.

Характер управлінського технологічного процесу в часі визначається безперервністю або дискретністю надходження сировини, напівфабрикатів та виробництва готового продукту, що визначається часом їх надходження в стійкому і нестійкому стані.

За характером відповідно до часової характеристики технологічні процеси можуть бути розділені на безперервні, безперервно-дискретні та дискретні. Вони відрізняються один від одного стабільністю, стаціонарністю, продуктивністю [1].

Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) — це людино-машинні системи, що забезпечують автоматизовані збір, обробку інформації та управління технологічними об'єктами відповідно до визначених критеріїв.

Критеріями управління АСУТП є техніко-економічні показники (наприклад, собівартість готового продукту, продуктивність технологічного об'єкту керування (ТОК) при стандартному показнику якості продукції).

АСУТП — одне із найбільш специфічних застосувань обчислювальної техніки. ЕОМ та пристрої, які входять до складу АСУТП, керують ТОК та функціонують в режимі реального часу. При цьому обчислювальна техніка забезпечує: виконання задач запуску та зупинки обладнання; контроль його стану й захисту від перевантаження; підтримання заданого режиму роботи обладнання та стабілізації окремих технологічних параметрів; оптимізацію якісних і кількісних показників роботи окремих агрегатів і технологічних дільниць підприємств у цілому; цифрове керування технологічним процесом тощо.

Значних перешкод в управлінні безперервними технологічними процесами при проектуванні АСУ-АСУТП не виникає внаслідок їх стаціонарності. Для дискретних процесів (особливо для завершальних виробничих процесів) виникають труднощі проектування АСУ-АСУТП, пов'язані з нестаціонарністю та низькою точністю контролю параметрів, що характеризують робочі характеристики процесу та якість продуктів харчування.

Для вирішення цієї проблеми в статті запропоновано принципи побудови сучасних АСУ-АСУТП, які дозволять одержувати продукцію, що відповідатиме стандартам ЄС за рахунок вбудованих в технологічний процес робототехнологічних комплексів [2], MES-та ERP-систем, хмарних технологій, цифрових платформ та промислового Інтернету-речей (IIoT) [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній практиці виробництва харчової продукції для регіонів з високим рівнем екологічного забруднення сьогодні можна відзначити тенденції збільшення обсягів виробництва SMART-продуктів харчування з широким використанням білкових інгредієнтів тваринного та рослинного походження, а також додаткових джерел есенціальних нутрієнтів. При цьому створення інноваційних технологій з метою покращення якості харчування населення на забруднених територіях, тісно пов'язана з проблемою забезпечення екологічно чистою вітчизняною сировиною та пошуком ефективних способів її переробки з впровадженням безлюдних технологій та робототехнологічних комплексів.

Таким чином, сучасним тенденціям створення полікомпонентних SMART-продуктів харчування, що відповідатимуть оптимальному ступеню задоволення потреб різних верств

населення за фізіологічними нормами, повинні відповідати проектні рішення щодо розробки інформаційних систем автоматизованого керування технологічними процесами виробництва харчових продуктів.

Значний вклад у рішення проблеми інформаційного забезпечення автоматизованого керування процесами виробництва харчових продуктів внесли дослідження таких відомих вчених, як Б. М. Гончарук, А. П. Ладанюк, В. Г. Трегуб, І. В. Ельперін, Л. Н. Плужніков та багато інших науковців та спеціалістів сфери харчової промисловості [3, 4, 5, 6].

Метою статті є розробка методів і функцій керування технологічними процесами в автоматизованих системах управління виробництвом SMART-продуктів харчування.

Виклад основного матеріалу. Основним призначенням АСУТП в підприємствах харчової промисловості є цілеспрямоване проведення технологічних процесів для одержання в достатній кількості харчових продуктів належної якості з найменшими витратами та забезпечення суміжних та галузевих АСУ необхідною інформацією.

Основними завданням вдосконалення АСУТП на даному етапі розвитку харчової промисловості України є впровадження цифрових систем, робототехнологічних комплексів, які будуть зменшувати матеріальні та енергетичні затрати, створювати екологічну стійкість і надійність виробничих структур, а головне, гарантувати функціонування системи в заданих значеннях оптимізації технологічних параметрів [7, 8, 9].

Основними завданнями оптимізації технологічних процесів є:

- пошук та підтримання оптимального режиму, який характеризується вектором вхідних параметрів стану об'єкту керування X та відповідного вектору вихідних чинників Y ;
- переведення технологічного обладнання з одного режиму роботи в інший з метою гнучкого виробництва SMART-продуктів харчування за допомогою цифрових систем керування;
- оперативне керування групою технологічних ліній (робототехнологічних комплексів) за рахунок алгоритмів координації та узгодженого управління виробництвом продукції;
- структурне управління групою підприємств-постачальників галузі виробництва SMART-продукції, системою енергозабезпечення, контроль викидів CO_2 з платформами машинного навчання (ML), виведення в ремонт обладнання (SMART-ремонт), вмикання резерву, діагностування стану обладнання з метою мінімізації впливу на навколишнє середовище;
- оптимальне планування виробничих програм та потоків грошей за допомогою ERP-систем з використанням хмарних технологій і ПЗ з метою фінансового моделювання бізнес-процесів та проектів розробки SMART-продуктів.

Таким чином, оптимізацію процесів виробництва SMART-продуктів харчування для територій з техногенним тиском можна подати у вигляді моделі виду:

$$J = F(X, U, Y, Z, t) dt, \quad (1)$$

де X, U, Y, Z — вектори параметрів стану відповідно об'єкта управління, сигналів керування, вихідних змінних, збурень; F — функціонал.

Технологічні відділення та підрозділи сучасних хлібозаводів складаються із десятків технологічних апаратів, робототехнологічних комплексів, установок, в яких відбуваються технологічні процеси виробництва напівфабрикатів, кінцевого продукту або підготовки допоміжних матеріалів, енергоносіїв, теплоносіїв тощо. На рис. 1 наведено сучасну структуру автоматизованого управління хлібозаводом з виробництва n найменувань хлібобулочної продукції.

Автоматизоване керування технологічними відділеннями або підрозділами виконується під контролем головного технолога та топ-менеджерів хлібозаводу за допомогою експертних систем з автоматизованими робочими місцями (АРМ) та монітором корпоративної продуктивності (МКП).

У першу чергу, управлінський персонал необхідно забезпечити якісною інформацією про сировину, характеристики води, інгредієнтів, енергоносіїв. Тому перший рівень АСУТП заводу складається із датчиків та локальних адаптивних систем керування, які забезпечують

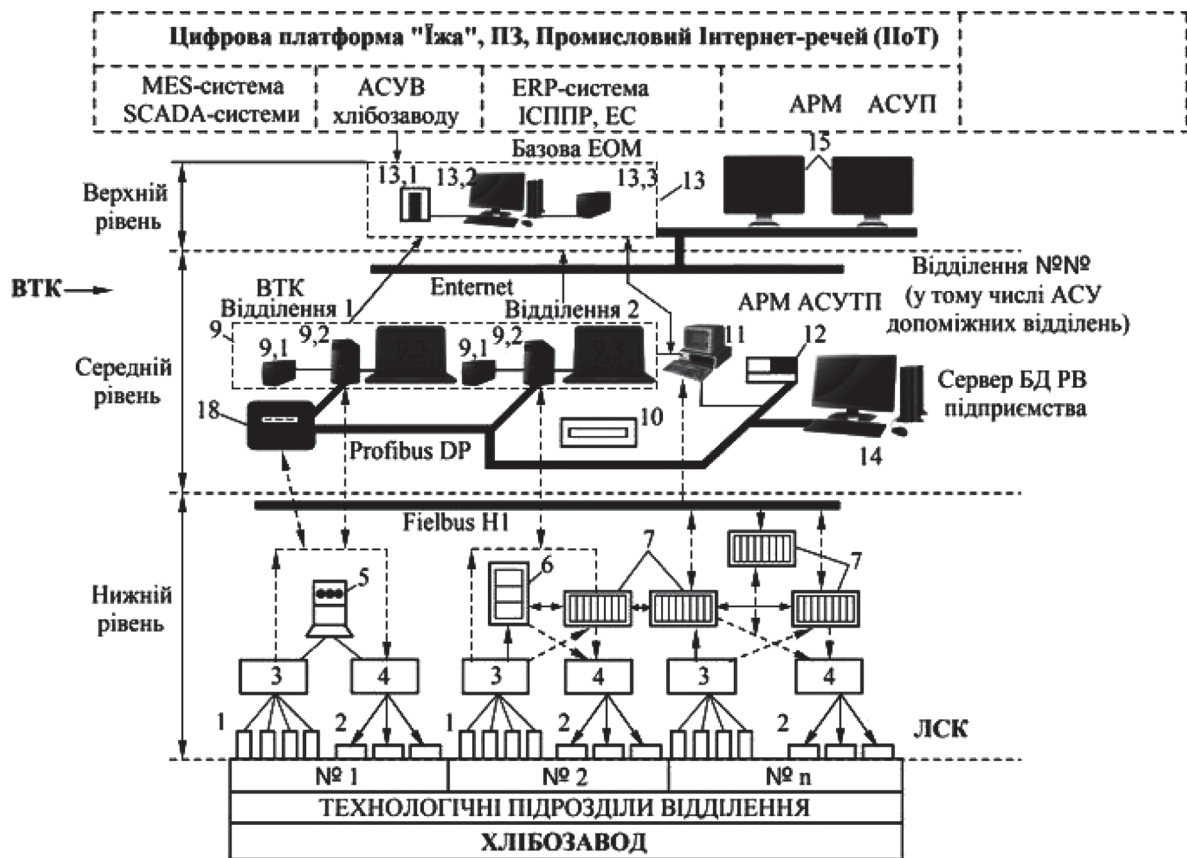


Рисунок 1 — Автоматизована система управління технологічним процесом хлібозаводу:

1 — датчики-перетворювачі технологічного процесу (ТП), встановлені на технологічному обладнанні (ТО); 2 — виконавчі механізми та електродвигуни технологічного обладнання; 3 — нормуючі перетворювачі, сигналізатори параметрів, блоки електропостачання, змонтовані на щитах; 4 — пускова апаратура електродвигунів виконавчих механізмів; 5 — пульт оператора; 6 — локальна комп'ютерна мережа; 7 — локальні мікропроцесорні контролери; 8 — мережеві мікропроцесорні контролери; 9 — програмно-технічний комплекс (ПТК); 9,1 — друкувальні пристрої; 9,2 — мікроЕОМ, пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО); 9,3 — відео-термінал; 10 — монітор корпоративної продуктивності; АРМ оператора-технолога АСУТП; 12 — персональні ЕОМ; 13 — базова ЕОМ верхнього рівня; 13,1 — зовнішній пристрій пам'яті (вінчестер); 13,2 — ЕОМ, відео термінал; 13,3 — пристрій друку; 14 — сервер бази даних підприємства; 15 — АРМ АСУТП; MES (Manufacturing Execution System) — система управління виробничими процесами; ERP — система стратегічного управління підприємством; SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — система диспетчеризації, управління і збору даних; ПЗ — програмне забезпечення; ІІоТ — Промисловий Інтернет-речей; ВТК — виробничо-технологічний комплекс; ТП — технологічний процес; ТО — технологічне обладнання; ЛСК — локальні системи керування; АСУВ — автоматизована система управління виробництвом

формування інформації про протікання технологічного процесу виробництва хлібобулочних та макаронних виробів, а також інформації про стан технологічного обладнання.

Інформаційне забезпечення АСУ-АСУТП заводу — це сукупність єдиної класифікації та кодування техніко-економічної інформації, уніфікованих систем документації і масивів інформації, які використовуються в системах керування [7]. У процесі керування технологічними процесами персонал заводу повинен бути забезпечений інформацією в реальному масштабі часу (РЧ). Отже, безперервне і своєчасне забезпечення системи управління хлібозаводом інформацією та усіма необхідними знаннями є основною функцією інформаційного забезпечення. Іншими словами, при побудові АСУТП хлібозаводів необхідно мати сукупність даних, певних засобів їх опису, методів організації, збереження, накопичення та доступу до інформаційних масивів, які забезпечують надання усієї інформації, необхідної в процесі реалізації функціональних задач АСУТП.

Для побудови та формування баз даних, баз прецедентів та баз знань будемо використовувати датчики інформації, основані на взаємодії ультразвукових коливань з гетерогенним середовищем, а також експертні оцінки технологів для побудови експертних систем керування технологічними процесами виробництва хлібобулочних виробів [8].

Головною відзнакою експертних систем і систем оброблення даних полягає в тому, що в них використано символічний метод, а не чисельний метод представлення даних, а в якості методів оброблення інформації використовується процедура логічного виводу та евристичного пошуку рішень.

В запропонованій АСУТП хлібозаводу на нижньому рівні керування використані інтелектуальні датчики контролю, інтелектуальні виконавчі механізми (ВМ), мікропроцесорні системи керування технологічними стадіями та окремими апаратами, а також мікропроцесори, вбудовані до приладів і блоків введення-виведення. Такий підхід відповідає ідеології Fieldbus Foundation, яка ставить за мету перенесення типових алгоритмів переробки інформації (фільтрації, масштабування, лінеаризації тощо), регулювання (стабілізації, відстежування, каскадного керування і т. п.), логічного керування (пуск, зупинка, блокування і т. п.) на нижній рівень інтелектуальних блоків введення-виведення, датчиків та ВМ. З метою використання цієї ідеології в АСУТП хлібозаводу використана типова польова мережа Fieldbus H1. Ця мережа реалізує всі функції, властиві HART-протоколу, що надає можливість програмувати конкретні алгоритми контролю та керування, реалізовані в приладах, датчиках, робототехнологічних інтенсифікаторах тощо.

Перший рівень структури управління хлібозаводом (рис. 1) складається із локальних мікропроцесорних систем керування, які забезпечують формування інформації про хід технологічного процесу виробництва. Локальні системи керування змонтовані безпосередньо біля апаратів, агрегатів, установок або технологічних ліній, що дозволяє отримати необхідну інформацію, її обробку та передачу на наступний рівень управління заводом за допомогою мережі Fieldbus H1.

Таким чином, кожний із видів технологічного обладнання забезпечений локальними системами керування. При цьому обробка інформації та її представлення оператору виконується технічними засобами мікропроцесорної техніки.

На першому рівні управління заводом реалізовано наступні функції АСУ-АСУТП:

- вимірювання технологічних параметрів, обробка і передача сигналів інформації на другий рівень управління;
- регулювання заданих значень технологічних параметрів;
- формування керованих впливів на виконавчі механізми (клапани, насоси, шнекові давальники, мішалки і т. п.);
- автоматичне керування за заданими алгоритмами окремими технологічними агрегатами, установками та лініями в цілому;
- збирання і передача на другий рівень управління сигналів про стан виконавчих механізмів, спрацювання систем захисту та блокування.

Відповідно до функцій АСУТП, що реалізуються на нижньому рівні ієрархії, проєктанти вибирають такі технічні засоби автоматизації:

- вимірювальні перетворювачі (датчики), датчики технологічних параметрів, перетворювачі сигналів, сигналізаторів технологічних параметрів, адаптивні регулятори (контролери);
- виконавчі пристрої;
- електропускову апаратуру;
- локальні мікропроцесорні пристрої (контролери для логіко-програмного керування і регулювання технологічних процесів), УЗО, ПК.

В АСУТП хлібозаводу виробничо-технічний комплекс (ВТК) оснащений сучасними інтелектуальними датчиками, локальними адаптивними цифровими системами з мікропроцесорними виконавчими механізмами. Інформація про стан ВТК передається на другий ієрархічний рівень управління заводом для представлення оператору і формування команд керування технологічними процесами.

Другий рівень управління хлібозаводом утворюється системами, функцією яких є автоматизоване керування технологічними відділеннями та підрозділами відповідно інформації, одержаної від нижнього рівня управління. На другому рівні виконується координація керування технологічним та робототехнологічним обладнанням відділень, підрозділів та ліній, а також забезпечується узгоджене керування між ними за допомогою MES-систем.

На цьому рівні управління реалізуються такі функції АСУТП:

- відображення оперативної інформації про значення технологічних параметрів і стан технологічного обладнання, а також позначених команд і даних, введених оператором;
- формування та передача керованих впливів на виконавчі механізми;
- автоматичне керування за заданою програмою та командами оператора роботою технологічного обладнання, що знаходиться в технологічному відділенні або підрозділі;
- координування оператором режимів роботи відділень та/або підрозділів;
- реєстрацію інформації про роботу технологічних відділів та/або підрозділів за допомогою друкованих пристроїв, а також її архівування та зберігання;
- збір, обробка та передача інформації про роботу технологічних відділень і підрозділів на третій рівень управління заводом.

Системи управління другого рівня концептуально базуються на використанні програмно-технічних комплексів (ПТК) та інтелектуальних систем підтримки прийняття операційних рішень (ІСППОР), які включають базову ЕОМ, установки зв'язку з об'єктом (УЗО), відео-термінали, друкувальні пристрої, локальні та мережеві мікропроцесорні пристрої (контролери), а також персональні ЕОМ, тобто автоматизовані робочі місця (АРМ) оператора-технолога.

Уся інформація, необхідна для прийняття оперативних рішень щодо керування технологічним процесом, відображається на кольорових моніторах та термінальних відео-пристроях.

Введення команд, даних і регламентів (інструкцій) виконується оператором-технологом за допомогою клавіатури. Інформація про технологічні параметри і стан обладнання та команди керування передаються за рахунок пристроїв зв'язку з об'єктом у ПТК або від локальних мікропроцесорних пристроїв у ЕОМ або персональні ЕОМ (ПЕОМ) за рахунок персональної мережі Profibus DP.

У випадку використання розподілених систем мікропроцесорних контролерів на хлібозаводах до другого рівня управління відносять мережеві контролери та ПЕОМ, які використовують АРМ технолога.

Третій рівень управління хлібозаводом реалізує задачі стратегічного менеджменту, виробничого планування, бізнес-керування виробництвом продукції, портфелем замовлень, логістикою, енергоресурсами за допомогою цифрової платформи «ІЖА», MES-систем, ERP-системи, ІСППР та Промислового Інтернету-речей (IIoT).

На третьому рівні управління реалізуються функції управління портфелем замовлень SMART-продуктів харчування та виробничими можливостями підприємства — виробнича потужність (максимально можливий випуск продукції за об'ємом і асортиментом за оптимального рівня використання обладнання, технологій, персоналу, виробничих площ, енергоресурсів). З метою узгодження потреби ринку та можливостей підприємства формується виробнича програма (план виробництва та реалізації продукції) на певні періоди часу: рік, квартал, місяць, декаду, добу, зміну.

Виробниче планування на базі MES- та ERP-систем охоплює наступні задачі:

- складання плану щодо виробництва, формування комплексного графіка виробництва, планування потреб в матеріальних ресурсах, детальне планування і управління виробництвом, облік ходу виробництва, управління виробництвом і диспетчеризація.
- диспетчеризація режимів роботи технологічних ліній та узгоджене управління ними з координацією їх взаємодії з постачальниками борошна та інших інгредієнтів з метою виробництва продукції високої якості;

— подальше навчання баз даних, баз знань та реєстрація поточної й інтегрованої інформації щодо функціонування технологічних відділень і підрозділів АСУ хлібозаводу, у т. ч. з підготовки сировини;

— надання інформації топ-менеджерам заводу про ринкову вартість підприємства, потоки грошей, навчання персоналу тощо.

Для систем управління третього рівня характерним є використання ПТК і базової ЕОМ, призначених для операторських станцій, і забезпечення підтримки та маніпулювання достатньо потужними базами даних.

В АСУ хлібозаводу великої потужності важливим є обмін інформацією як по горизонталі, між технологічними відділеннями та підрозділами, так і по вертикалі, між рівнями управління відділеннями та підрозділами. Тут ефективним є використання протоколів та інтерфейсів компонентів АСУВ локальної мережі, а також стандартних інтерфейсів зв'язку між мікропроцесорними контролерами, ПТК і ПЕОМ для промислових розподілених мереж вітчизняного виробництва, а, головне, для інформаційних мереж Ethernet та PoT.

Цікавим є досвід використання інтегрованих мікропроцесорних систем «Damatic XDI» на хлібозаводах Фінляндії. Система XDI — це розподілена система управління хлібозаводом, яка має потужні засоби автоматизації, починаючи з базових функцій керування і закінчуючи засобами інформаційного менеджменту як системи контролю та управління виробництвом і якістю продукції. Для планування та управління хлібопекарним виробництвом передбачена спеціальна мікропроцесорна станція, що підключена до системної шини. Мікропроцесорна система «Damatic XDI» дозволяє вирішувати задачі керування локальними системами, а також управляти хлібопекарським виробництвом і заводом в цілому.

Основне призначення системи — підвищення продуктивності та якості продукції за рахунок використання нових засобів представлення інформації виробничому персоналу. Ця система вирішує наступні задачі:

- збір та обробку технологічної інформації;
- контроль і керування технологічними процесами, програмний запуск і блокування, відеографічне зображення динаміки технологічного процесу і роботи систем керування;
- групове керування виконавчими механізмами, електродвигунами та клапанами;
- друк рапортів та інформаційних режимних листів;
- організацію інформаційних зв'язків в самому підприємстві, що забезпечує розширення обчислювальних ресурсів для вирішення нестандартних задач.

Апаратне оформлення системи на локальному рівні базується на мікропроцесорних станціях (сукупності контролерів). Кожна станція розрахована на 200 входів та виходів. Інформація від мікропроцесорних станцій (МС) передається в системну шину, максимальна довжина якої складає 2 км коаксіального кабелю, протокол зв'язку «token passing». До системної шини підключені пристрої другого рівня: операторські станції, системи технологічної та аварійної сигналізації, станції виведення трендів та станції керування рецептурами. Для представлення інформації персоналу обслуговування та керування станцією існують графічні телемонітори, сенсорні клавіатури, друкувальні та реєструючі пристрої.

Вченими ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг) накопичено значний досвід проектування адаптивних систем керування технологічними процесами виробництва SMART-продуктів харчування для населення територій з техногенним тиском та людей з важкими умовами праці або служби. Авторами розроблені типові АСУТП підприємств харчової промисловості, в яку вбудована цифрова платформа «ІЖА» та використана відкрита архітектура. Вона дозволяє виконувати інтеграцію з іншими системами, а також виконувати пошук аварійних режимів і запобігання їх виникненню в режимі реального часу, та має доступ до мережі PoT, наприклад, розпізнає критичні аварійні виробничі ситуації. При цьому аварійні сигнали можливо автоматично передавати персоналу через радіотелефону мережу GSM. Відмінною особливістю таких АСУТП є високий

рівень роботизації нижнього рівня управління виробничими процесами, а також використання вбудованих в технологічний процес робототехнологічних інтенсифікаторів.

Розглянемо більш детально роботу оператора-технолога та топ-менеджера хлібозаводу. Інформація, яка надходить на монітор оператора-технолога, групується на відеокадрах за функціональними ознаками та відображається у вигляді фрагментів технологічних схем (графіків, таблиць, гістограм). Вона надається оператору за принципом «деталізація зверху вниз». В системі передбачені відеокадри, стандартні та мнемосхеми.

Стандартні відеокадри (вікна) включають:

- протокол подій (по системі в цілому та за технологічним відділенням);
- таблицю операторського налагодження для кожного параметра;
- групові та одиночні тренди;
- доступ до системи;
- меню друкованих документів та інші відеокадри, у тому числі «оглядове табло», тобто узагальнений кадр системи (перший рівень деталізації): інформація про становище заводу, поділена на технологічні дільниці, назва яких висвічується на відеокадрі;
- зміна кольору назв (зелений, жовтий, червоний), вказує на появу сигналізації на відповідній технологічній дільниці;
- блок «дільниця» (установка, агрегат), тобто другий рівень деталізації: інформація про стан параметрів однієї технологічної дільниці; при цьому всі її змінні умовно розділяються на функціонально зв'язані групи; зміна кольору назви груп свідчить на появу сигналізації на відповідній технологічній дільниці;
- блок «група змінних» (третій рівень деталізації) — детальна інформація про технологічні змінні, при цьому передбачено їх виведення на екран монітора та мнемосхеми наступних динамічних елементів: поточні значення аналогової змінної в цифровій формі; стан дискретної змінної у вигляді написів «ввімкнено», «вимкнено», «відкрито», «закрито»; динамічного барографа; динамічного елемента миготіння визначеного поля мнемосхеми; динамічної віртуальної клавіші, при натисненні на яку виникає перехід від поточної мнемосхеми до будь-якої іншої, за вибором; динамічна область мнемосхеми, на якій висвітлюються різні «малюнки» в залежності від взаємного стану дискретних сигналів та інших логічних змінних та ін.

В системі передбачено можливості формування, відображення на моніторі та друкування «протоколу подій» — звітного документу, в якому у хронологічному порядку фіксуються всі події в системі; звітних документів довільної форми; «протоколів передаварійного та післяаварійного стану».

Для топ-менеджерів підприємства передбачено використання монітору корпоративної продуктивності (МКП).

Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора-технолога, забезпечене персональним комп'ютером (ПК) та прикладними програмами, призначеними для реалізації окремих функцій (наприклад, вимірювання параметрів) або блоків функцій (наприклад, управління технологічною операцією).

Усі АРМ підключені до єдиної технологічної платформи, яка працює на базі потужного сервера. При використанні цієї схеми електронної обробки інформації організується суспільна робота багатьох користувачів з різними або одними й тими ж програмами та складом даних.

АРМ — це комплекс об'єднаних між собою технічних засобів, який забезпечений програмними засобами та здатний реалізувати закінчену інформаційну технологію.

У комплекс входять такі модулі: процесор, дисплей, принтер, клавіатура, маніпулятор «мишка», плоттер, сканер, стример, обладнання для передачі даних. Програмними елементами АРМ є операційні системи, системи керування базами даних, пакети прикладних програм, спеціальні програми, графічні та тестові редактори, табличні процесори і т. п. Таким чином, мова йде про комплекс технічного та програмного забезпечення інструмента кожного користувача. Поняття АРМ охоплює проблеми від створення систем розподіленої обробки даних (з визначенням інформаційних рівнів) до рішення ерго-

номічних питань (розташування та склад технічних засобів, зручність користування ними тощо).

АРМ зближує користувача з можливостями сучасної інформатики та обчислювальної техніки й створює умови щодо роботи без посередника — професійного програміста. У цьому випадку гарантуються автономна робота та можливості зв'язків з іншими користувачами в межах підприємства. Обов'язковою умовою ефективного використання автоматизованих робочих місць є наявність в ньому сервісної системи підтримки роботи користувача, яка включає програми навчання роботи на клавіатурі, правила захисту інформації та звернення до носіїв, технологічні інструкції з прикладами проведення конкретних видів робіт.

Основні функції АРМ оператора:

- контроль технологічних параметрів та керування програмно-логічними операціями;
- керування регуляторами, клапанами, дискретними ВМ, протиаварійний захист, розрахунок узагальнених показників якості тощо.

Система відеокadrів АРМ оператора включає:

- оглядовий кадр з назвою вузлів та стадій ТП і сигналізацією їх стану щодо порушення регламенту та збуреннях роботи обладнання (кожний вузол відображається рядком на екрані з індикацією стану);
- кадр стану параметрів визначеної ділянки в табличній формі з шифрами параметрів, поточних значень та одиниць вимірювання;
- кадр стану визначеної групи регуляторів в графічній групі, який забезпечує керування завданнями і ВМ (клапаном);
- тренди (в графічній формі), що відбивають історію групи параметрів з можливістю масштабування по осях, дозволяють оператору переглянути значення за показниками та вивести інформацію на друк;
- мнемосхеми поточного стану технологічного вузла з можливістю керування регуляторами та дискретними ВМ;
- кадр керування, який відбиває поточний стан і забезпечує керування алгоритмами програмно-логічного керування та операціями протиаварійного захисту (ПАЗ);
- бланки АСУТП з метою ознайомлення та друку режимних сторінок, протоколів аварійних ситуацій, спрацювання ПАЗ;
- діагностику поточного стану контролерів та каналів зв'язку;
- архів для ознайомлення та друку бланків АСУТП.

Програмне забезпечення (ПЗ) АРМ налагодження складається з таких програм:

- 1) підготовки, трансляції, компонування, завантаження, вивантаження і ретрансляції ППР контролера, контролю і керування змінними, зняття перехідних характеристик об'єкта з виведенням на друк;

- 2) розрахунок параметрів регуляторів за кривою розгону з ідентифікацією динамічної моделі;

- 3) розрахунок параметрів регуляторів ітераційним методом в режимі реального часу (РЧ) з замкненим контуром регулювання, шляхом розкочування контуру за 2—3 ітерації програма виконає налагодження з занесенням коефіцієнтів у пам'ять контролера.

Розглянемо функції деяких автоматизованих робочих місць.

Основні функції АРМ хіміка-аналітика:

- 1) прийняття та збереження аналітичних сигналів;
- 2) керування відбором проб та режимами роботи аналізаторів якості;
- 3) оброблення результатів у режимах градування та подальшого аналізу;
- 4) ручне введення та виведення в архів аналітичних даних;
- 5) формування звітних документів.

Основні функції АРМ операторів-технологів:

- 1) моделювання об'єкта та САР, виконання функцій керування АРМ операторів;
- 2) налагодження програм щодо конкретного використання, навчання операторів-технологів керуванню ТП в умовах АСУТП на базі двох ПЕОМ, одна з яких виконує роль

моделі об'єкта, а інша — АРМ оператора АСУТП, на якій оператор набуває навички керування ТП. ПЕОМ зв'язані між собою, наприклад, послідовним інтерфейсом RS-485.

Обмін даними передбачає передачу керованих впливів від ПЕОМ навчання до ПЕОМ моделі та зворотно — від моделі розрахованих значень змінних. Виведення керованих впливів оператор виконує з клавіатури ПЕОМ навчання, а збурених впливів — з клавіатури моделі. Крім цього, збурення може бути задано серією прямокутних імпульсів або синусоїдальною хвилею, випадковим чином. У процесі проектування АСУТП хлібозаводу необхідно:

- оцінити кількість АРМ операторів та АРМ верхнього рівня (керівника зміни, керівників цехів) та АРМ топ-менеджерів хлібозаводу;
- оцінити необхідність сервісних АРМ (начальника, для навчання);
- підрахувати число вхідних аналогових сигналів, контурів регулювання, вхідних дискретних сигналів стану, вихідних дискретних сигналів керування, контурів ПАЗ у системі;
- визначити інформацію про характер ТП, наявність та число програмно-логічних операцій.

Таким чином, в реальному масштабі часу розроблена АСУТП хлібозаводом дозволяє покращити екологічність та якість розроблених SMART-продуктів харчування за рахунок узгодженого управління трьох рівнів АСУТП.

Висновки. Таким чином, розроблено методологію проектування багаторівневих АСУТП хлібозаводів з виробництва n видів продукції, верхній рівень яких забезпечує функції цифрофізації: стратегічного та оперативного планування, зв'язків з постачальниками та споживачами продукції в реальному масштабі часу; прийняття рішень щодо гнучкого оновлення та адаптації продукції до змін її споживчих характеристик; зниження собівартості та ресурсомісткості виробництва хлібобулочних виробів з підвищенням екологічності за рахунок оптимізації роботи обладнання в режимі реального часу та розробки інноваційних SMART-продуктів для регіонів із забрудненими територіями. Доведено, що узгоджене пряме цифрове керування локальними системами та інформаційне забезпечення диспетчерського MES-управління дозволяє оптимізувати траєкторію виробництва n видів продукції в умовах зміни якості сировини — борошна — та робочих параметрів обладнання з вбудованими робототехнологічними комплексами.

Список літератури

1. Хорольський В. П. та ін. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів : монографія. Кривий Ріг : видавець ФОП Чернявський Д. О., 2019. 204 с. ISBN 978-617-7784-12-7.
2. Хорольський В. П. та ін. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону. Кривий Ріг : видавець ФОП Чернявський Д. О., 2020. 564 с. ISBN 978-617-7784-30-1.
3. Гончаренко Б. М., Ладанюк А. П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій : підручник. Київ : НУХТ, 2014. 530 с. ISBN 978-966-612-163-2.
4. Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах : навч. посібн. Київ : Ліра-К, 2011. 552 с. ISBN 978-966-2174-13-7.
5. Черевко О. І., Кіптєла Л. В., Михайлов В. М., Загорулько О. Є. Автоматизація виробничих процесів: підручник. Харків : ХДУХТ, 2014. 186 с. ISBN 978-966-405-355-3.
6. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації. Київ : Ліра-К, 2019. 344 с. ISBN 978-966-2609-58-5.
7. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К. Методи ідентифікації та алгоритми адаптивних систем прямого цифрового керування виробництвом продуктів харчування. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2020. № 1 (40). С. 32–45. doi : 10.33274/2079-4827-2020-40-1-32-45.
8. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заїкіна Д. П., Кузьменко А. О., Невідін В. І. Інформаційна система керування виробництвом харчових смарт-

продуктів з технологіями заморожування. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2020. № 2 (41). С. 79–88. doi : 10.33274/2079-4827-2020-41-2-79-88.

9. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Ткач М. С. Інтелектуальна фабрика з виробництва хлібобулочних виробів. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2020. № 1 (40). С. 66–79. doi : 10.33274/2079-4827-2020-40-1-66-79.

References

1. Horolskiy, V. P. et al. (2019). *Intelektualni sistemi upravlinnya virobnitstvom hlibobulochnih virobiv* [Intelligent control systems for the production of bakery products]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy Publ., 204 p. ISBN 978-617-7784-12-7.

2. Horolskiy, V. P. et al. (2020). *Tsifrovi systemy intelektualnogo upravlinnya pidpryemstvami promyslovogo kompleksu regionu* [Digital systems of intellectual management of enterprises of the industrial complex of the region]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy Publ., 561 p.

3. Goncharenko, B. M., Ladanyuk, A. P. (2014). *Avtomatizatsiya virobnichih protsesiv harchovih tehnologiy* [Automation of food production processes]. Kyiv : NUFT Publ., 530 p. ISBN 978-966-612-163-2.

4. Pupena, O. M., Elperin, I. V., Lutska, N. M., Ladanyuk, A. P. (2011). *Promislovi merezhi ta integratsiyi tehnologiyi v avtomatizovanih sistemah* [Industrial networks and integration technologies in automated systems]. Kyiv, Lira-K. 552 p. ISBN 978-966-2174-13-7.

5. Cherevko, O. I., Kiptela, L. V., Mihaylov, V. M., Zagorulko, O. E. (2014). *Avtomatizatsiya virobnichih protsesiv* [Automation of production processes]. Kharkiv, HDUHT Publ., 186 p. ISBN 978-966-405-355-3.

6. Tregub, V. G. (2019). *Proektuvannya sistem avtomatizatsiyi* [Design of automation systems]. Kyiv: Lira-K Publ., 344 p. ISBN 978-966-2609-58-5.

7. Horolskiy, V. P., Korenets, Yu. M., Kopaygora, O. K. (2020). *Metody identyfikatsiyi ta algorytmy adaptivnykh system pryamogo tsyvrovogo keruvannya vyrobnytstvom produktiv kharchuvannya* [Methods of identification and algorithms of adaptive systems of direct digital control of food production], *Obladnannya ta tehnologiyi kharchovih vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], no. 1(40), pp. 32–45. doi : 10.33274/2079-4827-2020-40-1-32-45.

8. Horolskiy, V. P., Korenets, Yu. M., Kopaygora, Zaikina, D. P., Kuzmenko, A. O., Nevidin, V. I. (2020). *Informatsiyina sistema keruvannya virobnitstvom harchovih smart-produktiv z tehnologiyami zamorozhuvannya* [Smart food production management information system with freezing technologies]. *Obladnannya ta tehnologiyi kharchovih vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], no. 2 (41), pp. 79–88. doi : 10.33274/2079-4827-2020-41-2-79-88.

9. Horolskiy, V. P., Korenets, Yu. M., Kopaygora, O. K., Tkach, M. S. (2020). *Intelektualna fabrika z virobnitstva hlibobulochnih virobiv* [Intelligent Bakery Factory], *Obladnannya ta tehnologiyi kharchovih vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], no. 1(40), pp. 66–79. doi : 10.33274/2079-4827-2020-40-1-66-79.

Objective. The purpose of the article is to develop methods and functions for controlling technological processes in automated control systems for the production of SMART-food products.

Methods. The methodological basis of research consists of: methods for studying the identity of technological processes of food production in terms of physical and chemical nature, the presence of material and energy internal connections, which allows you to build mathematical models, a database, a knowledge base of both discrete, continuously discrete processes, and continuous production processes using automated information systems; the methods of the theory of system analysis (for the structural decomposition of the production processes of SMART-food products), the theory of systems identification, the theory of digital signal processing were used in order to design microprocessor control systems of the lower level.

Results. A methodology for the design of multi-level control systems for bakery plants with the production of n types of products has been developed, the upper level of which provides the functions of digitalization: strategic and operational planning, relations with suppliers and consumers of products in real time; making decisions on flexible renewal and adaptation of products to changes in their

consumer characteristics; reducing the cost and resource intensity of the production of bakery products with an increase in environmental friendliness by optimizing the operation of equipment in real time and developing innovative SMART-products for regions with contaminated areas. It is proved that coordinated direct digital control of local systems and information support of dispatching MES-control allows to optimize the trajectory of production of n types of products in conditions of changing quality of raw materials — flour — operating parameters of equipment with built-in robotic systems.

Key words: technological process, automated control system, process control system, digital systems, real time scale, optimization.

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-42-1-139-147

УДК 338.242:658.26

Горєлков Д. В., канд. техн. наук, доцент¹

Омельченко О. В., канд. техн. наук²

Гейєр Г. В., д-р екон. наук, професор²

Терешкін О. Г., д-р. техн. наук, професор³

Шевченко А. М., студентка¹

¹ Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (м. Харків, Україна), e-mail: gorelkov.dmv@gmail.com.

² Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua.

³ Харківський державний університет харчування та торгівлі (м. Харків, Україна), e-mail: tereshkin09@i.ua.

ІННОВАЦІЙНЕ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ УСТАТКУВАННЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

UDC 338.242:658.26

*Horielkov D. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹*

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences²

*Heiier H. V., Grand PhD in Economy sciences,
Professor²*

*Tereshkin O. G., Grand PhD of Engineering Science,
Professor³*

Shevchenko A. M., Bachelor's Degree student¹

¹ V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: gorelkov.dmv@gmail.com.

² Mykhailo Tuhon-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua.

³ Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine, e-mail: tereshkin09@i.ua.

INNOVATIVE ENERGY SAVING HEAT GENERATING DEVICES FOR EQUIPMENT OF RESTAURANT FACILITIES

Мета. Мета та завдання статті полягає в удосконаленні процесу пароутворення в апаратах закладів ресторанного господарства шляхом розробки інноваційних електродних нагрівачів та парогенеруючих вузлів.

Надійшла до редакції 26.03.2021 р.

© Д. В. Горєлков, О. В. Омельченко,
Г. В. Гейєр, О. Г. Терешкін,
А. М. Шевченко, 2021