

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2024-48-1-41-51
УДК 681.51:664.6:543.92(045)

Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор
Коренець Ю. М., старший викладач
Расчехмаров І. В., здобувач СВО магістра

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

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНКИ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КЕРУВАННІ ПРОЦЕСАМИ ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА

UDC 681.51:664.6:543.92(045)

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of Engineering
Science, Professor*
Korenets Yu. M., Senior Lecturer
*Raschekhmarov I. V., a graduate of a master's
degree*

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

PROSPECTS FOR APPLICATION OF THE AUTOMATION METHOD ASSESSMENT OF ORGANOLEPTIC CHARACTERISTICS IN CONTROL OF BREAD PRODUCTION PROCESSES

Мета. Метою статті є розробка інноваційного методу автоматизованого контролю смакоароматичних властивостей хліба в процесі його виробництва з метою його використання в існуючих конвеєрних лініях для випікання формового хлібу. Дослідження спрямоване на розширення можливостей використання інноваційних автоматизованих технологій у хлібопекарській промисловості та підвищення якості й конкурентоспроможності хлібобулочної продукції.

Методи. У статті використано аналіз поточних технологій на основі огляду літературних джерел та теоретичне моделювання системи автоматизованого контролю органолептичних властивостей хлібобулочної продукції. Для проведення експертних досліджень в процесі промислового виробництва хлібобулочної продукції пропонується використовувати інноваційний пристрій для контролю запаху – електронний (біоелектронний) ніс. Тобто головним елементом мехатронного пристрою конвеєрної лінії для випікання формового хлібу визначено інтегровану систему сенсорів для оцінки аромату і смакових якостей хлібу.

Результати. У статті розглянуто напрям вдосконалення промислових технологічних ліній для виробництва хлібобулочної продукції за рахунок використання систем автоматизації виробничих процесів з підсистемами підтримки прийняття рішень на базі використання методів і алгоритмів нечіткої логіки, що діятимуть на підставі об'єктивного аналізу технологічного процесу виробництва хлібу в режимі реального часу. Регулярність

об'єктивної оцінки критичних показників – маркерів технологічного процесу виробництва хлібобулочної продукції – на його ключових стадіях пропонується забезпечити за рахунок використання сучасних сенсорних пристроїв на заміну традиційній органолептичній оцінці, що базується на використанні органів чуттів людини. Недоліками технологічного обладнання для конвеєрного випікання хлібу, що використовується у вітчизняній хлібопекарній промисловості є велика кількість підготовчих операцій, які потрібно здійснювати вручну, періодичність процесу випікання хліба, відсутність автоматизації та низька продуктивність. Запропоноване оснащення з інтегрованою системою аналізу органолептичних характеристик дозволить здійснювати безперервний процес випікання хліба як за традиційними рецептурами, так і інноваційних сортів, що зробить можливим розширення асортименту та/або збільшення продуктивності заводу. Технічний результат, досягнутий завдяки використанню запропонованої вдосконаленої конвеєрної лінії для випікання хліба, полягає в забезпеченні безперервного виробничого процесу, автоматизації виробництва, збільшенні продуктивності та зменшенні кількості ручних операцій.

Ключові слова: хлібобулочний виріб, технологічний процес, органолептична оцінка, управління якістю, автоматизація.

Постановка проблеми. Не зважаючи на те, що Україна вже третій рік знаходиться в режимі воєнного стану, сьогодні ми можемо спостерігати стабілізацію роботи галузі харчових виробництв і повернення її до сталого розвитку. Для задоволення потреб споживачів, забезпечення їх працездатності, фізичного та ментального здоров'я, збереження, відновлення та розвитку вітчизняної економіки вкрай важливим є стабільне виробництво якісних і безпечних продуктів харчування в необхідній кількості. При цьому автоматизація, цифровізація та використання штучного інтелекту (ШІ) на всіх рівнях (керування, виробництво, маркетинг) можуть спростити роботу підприємств галузі і зробити її більш ефективною.

Важливим елементом контролю якості харчових продуктів є органолептичний аналіз – процес оцінки якості продукту або матеріалу за допомогою сприйняття людськими органами чуття: зором, нюхом, смаком, дотиком і слухом. Органолептична оцінка хліба – це процес оцінки хлібобулочних виробів за їх органолептичними властивостями. До органолептичних показників хліба та булочних виробів відносять зовнішній вигляд, забарвлення та стан скоринки, товщину верхньої скоринки, стан м'якшину (проміс, пористість, еластичність та свіжість), запах і смак.

У харчовій промисловості органолептичну оцінку проводять експерти-фахівці з якості, які мають для цього спеціальну підготовку, відповідний досвід і напрацьовані практичні навички.

Хоча органолептична оцінка є важливим інструментом для визначення якості продуктів, вона має свої недоліки:

- суб'єктивність, тобто залежність від індивідуальних смаків, уподобань і впливів;
- необ'єктивність оцінки із-за різного рівня знань або досвіду експертів;
- спотворення результатів за рахунок впливу зовнішніх чинників (температури, освітлення, чистоти повітря тощо);
- обмеженість відчуттів і неможливість виявити за допомогою органолептичної оцінки певні хімічні або біологічні забруднення;
- витратність за часом і ресурсами.

У наш час з'явилися можливості для часткової автоматизації органолептичного аналізу, що може певною мірою попередити вищезазначені недоліки.

Під автоматизацією органолептичної оцінки розуміється процес використання спеціалізованих приладів для об'єктивного і точного вимірювання та аналізу властивостей продовольчої сировини, напівфабрикатів різного ступеня готовності, харчових продуктів без застосування органів чуття людини (зору, нюху, смаку, дотику тощо).

Для автоматизації органолептичної оцінки можна використовувати такі технології:

- отримання, обробка та аналіз зображень з використанням цифрової фотографій або відеозаписів для аналізу властивостей об'єктів контролю;
- використання сенсорних панелей або пристроїв для вимірювання сили тиску, температури або інших фізичних характеристик, які можуть впливати на органолептичні властивості;
- використання спеціальних програмних засобів для запису, аналізу та обробки даних про органолептичні властивості;
- використання електронних приладів для аналізу хімічного складу продуктів або матеріалів, що може впливати на їхні органолептичні властивості.

Автоматизація органолептичної оцінки дозволяє зменшити людський вплив на результати оцінки, забезпечити більшу об'єктивність та повторюваність результатів, а також значно зменшити час, необхідний для проведення оцінки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автоматизація органолептичної оцінки хліба може бути важливим кроком у підвищенні якості продукції та оптимізації виробничих процесів. Такі технології можуть сприяти покращенню контролю за якістю хліба і забезпечити стабільність у виробництві продукції високого рівня якості. Тому вітчизняні і закордонні вчені та практичні працівники все частіше вдаються до пошуку методів і способів автоматизації органолептичної оцінки продуктів харчування для впровадження їх у виробничі процеси на підприємствах галузі.

У статті вчених Центру прикладних автономних сенсорних систем (м. Еребру, Швеція) та Університету SASTRA (м. Танджавур, Індія) Емі Лутфі, Сільвії Корадескі, Ганеша Кумара Мані, Прабакарана Шанкара, Джона Боско Балагуру Раяппана представлено огляд останніх робіт щодо пристроїв типу «електронний ніс», які використовуються в харчовій промисловості. Основну увагу приділено застосуванню електронних носів в процесах моніторингу якості таких харчових продуктів, як м'ясо, молоко, риба, чай, кава, вино. Матеріали, представлені в цій роботі, доводять, що існує значна схожість між різними областями застосування з точки зору датчиків і алгоритмів обробки, що використовуються. Крім того, ця стаття містить критичний погляд на розробки, необхідні в цій галузі для переходу від дослідницьких платформ до промислових інструментів, призначених для застосування в реальних умовах [1].

Учені Юлія Бурлаченко, Іванна Кругленко, Борис Снопко (Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України, м. Київ, Україна) та Крішна Персауд із Школи хімічної інженерії та аналітичних наук Манчестерського університету (Великобританія) у своїй статті [2] визначають концепцію електронного носа, як один із найефективніших підходів до вирішення задач, що потребують швидкого скринінгу різноманітних складних сумішей. Але при цьому відзначається, що незважаючи на багаторічну історію розвитку штучних нюхових систем, цей напрямок все ще залишається на стадії інтенсивних досліджень, як фундаментальних, так і прикладних, оскільки рівень узагальнення та формалізації у сфері прободготовки, введення проб та вимірювання все ще залишається недостатнім для цього виду аналізу.

Вітчизняними вченими Асею Калініченко і Ларисою Арсеньєвою (м. Ужгород, Україна) було розроблено інтелектуальну мультисенсорну систему для ідентифікації та оцінки якості харчових продуктів [3], в основу якої покладено методологією «електронний ніс» для аналітичного контролю харчових продуктів. Дана методологія передбачає дослідження закономірностей одержання оптимальних за дискримінаційною здатністю масивів п'єзокварцових сенсорів з перехресною чутливістю та аналізу багатовимірного відгуку системи з використанням методів машинного навчання. Вченими розроблено методологічну схему аналізу газової фази різних груп харчових продуктів масивом п'єзосенсорів, що включає рекомендації з вибору методів підготовки та відбору проб в залежності від характеристик об'єкта та задач аналізу.

Учені Сергій Швед, Ігор Ельперін, Світлана Шаруда, Василь Кишенько (НУХТ, Україна) в своїх роботах [4, 5, 6] визначають технологічні процеси хлібопекарського виробництва як такі, що характеризуються високим ступенем невизначеності на різних етапах перебігу процесу виробництва хліба, багатокомпонентністю, нелінійними залежностями між параметрами, високими вимогами до якості готової продукції. Вони приклали значних зусиль для математичного опису багатьох явищ, які характеризують перетворення сировини та напівфабрикатів у готову продукцію.

Побудовані математичні моделі можуть використовуватись для доповнення існуючих систем автоматизації виробничих процесів підсистемами підтримки прийняття рішень з використанням методів і алгоритмів нечіткої логіки [7, 8]. Але впровадження таких систем потребує об'єктивного аналізу технологічних процесів виробництва хлібобулочної продукції в режимі реального часу.

Регулярність об'єктивної оцінки критичних показників – маркерів технологічного процесу виробництва хлібобулочної продукції – на його ключових стадіях можна забезпечити за рахунок використання сучасних сенсорних пристроїв замість традиційної органолептичної оцінки з використанням органів чуттів людини.

У вітчизняній хлібопекарній промисловості розповсюджене технологічне обладнання для конвеєрного випікання хлібу, в якому використовуються форми із неелектропровідних матеріалів з пластинами із нержавіючої сталі, підключеними до системи електроживлення. Недоліками такого обладнання є велика кількість підготовчих операцій, які потрібно здійснювати вручну, періодичність процесу випікання хліба, відсутність автоматизації та низька продуктивність.

Метою статті є розробка інноваційного методу автоматизованого контролю смакоароматичних властивостей хліба в процесі його виробництва з метою його використання в існуючих конвеєрних лініях для випікання формового хлібу. Дослідження спрямоване на розширення можливостей використання інноваційних автоматизованих технологій у хлібопекарській промисловості та підвищення якості й конкурентоспроможності хлібобулочної продукції.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експертних досліджень в процесі промислового виробництва хлібобулочної продукції пропонується використовувати інноваційний пристрій для контролю запаху – електронний (біоелектронний) ніс.

Біоелектронний ніс – це електронний пристрій, який моделює функції людського нюху. Для цього у пристрої використовуються біохімічні сенсори або біоелементи, за допомогою яких можна піддати визначене середовище аналізу, а саме: ідентифікувати хімічні речовини, що містяться в ньому; визначити їх концентрацію; розпізнати та оцінити запахи.

Електронний ніс імітує роботу людського нюху, реагуючи не на окремі елементи запаху, а на їх сукупність. Пристрій складається з системи відбору проб повітря, датчиків і блоку обробки сигналів. Система відбору проб забезпечує стабільні умови для роботи датчиків, які виявляють склад запаху. У біоелектронних носах роль нюхових рецепторів виконують клоновані білки з біологічних організмів. Для обробки сигналів використовуються технології, такі як метало-оксидні напівпровідники, електропровідні полімери та кварцові мікроваги. Комп'ютер аналізує сигнали і видає результат.

Прикладом такого обладнання є портативний пристрій Cyranose 320, який призначено для контролю якості в харчовій і хімічній промисловості. Загальний вигляд мехатронного пристрою Cyranose 320 наведено на рис. 1.

Пристрій дає можливість у режимі реального часу здійснювати перевірку кожної партії сировини за консистенцією, а також наявністю ознак псування та/або забруднення. Cyranose 320 також використовується для швидкої оцінки хімічного стану, пов'язаного з відтворенням різних промислових процесів.

Використовуючи матрицю датчиків і вбудовані алгоритми розпізнавання образів, пристрій працює шляхом впливу на масив полімерних композитних датчиків хімічних

компонентів, що знаходиться у контрольному зразку повітря (газового середовища). Коли датчики контактують із контрольним зразком повітря (газу, пари), полімер розширюється, як губка, тим самим змінюючи опір композитів. Вимірюється зміна опору і на основі цього вимірювання визначається наявність речовини, на яку було налаштовано (навчено) пристрій. Процес представляє собою доволі швидку і точну діагностику.



Рисунок 1 – Загальний вигляд пристрою Cyranose 320

Для приладів типу Cyranose 320 перед використанням потрібно провести одноразовий сеанс навчання, під час якого користувач піддає датчик впливу зразків кожного типу, що можуть зустрітися йому під час тестування. У такий спосіб створюється базова група, з якою порівнюватимуться всі майбутні зразки.

Етап відбору зразка передбачає розміщення наконечника пристрою біля зразка та простого натискання кнопки «Виконати». Відбір проб повітря, вимірювання параметрів контрольних зразків датчиками, обробка даних з порівнянням зразків виконуються автоматично і займають приблизно одну хвилину. Якщо параметри поточної проби збігаються з одним із попередньо підготовлених контрольних зразків, пристрій повідомляє про їх ідентичність. Якщо прилад не розпізнає зразок, прилад видає відповідне повідомлення. По завершенню циклу пристрій автоматично перезавантажується і полімерні композитні датчики повертаються до початкового рівня опору.

Завдяки своєму призначенню та можливостям біоелектронний ніс може бути використаний і в хлібопекарській галузі для визначення якості продуктів, виявлення забруднень, оперативного контролю якості та керування технологічним процесом на всіх важливих етапах технологічного процесу: вхідного контролю якості інгредієнтів; приготування опари; вистоювання тіста; випікання виробів тощо. При цьому його можна використовувати як самостійний пристрій або вбудувати в аналітичну систему.

Розглянемо запропоновану нами модель імітаційної аналітичної системи для вимірювання та аналізу смаку і запаху в процесі випікання хліба, як ключових параметрів оцінки його якості.

Основними елементами імітаційної системи є:

- датчики температури і вологості, розміщені на окремих ділянках конвеєра для спостереження і вимірювання параметрів, що впливають на смакоароматичні властивості хлібобулочних виробів;
- інтегровані смакові сенсори, здатні визначати смакові властивості тіста та готової продукції, забезпечуючи об'єктивне вимірювання смакових характеристик;
- датчик «електронний ніс», який взаємодіє з ароматичними речовинами, що виділяються під час бродіння тіста і випікання, аналізує хімічні зміни та оцінює аромат продукту на різних етапах виробництва.

Запропонована структура імітаційної системи вимірювання дозволить отримувати об'єктивні дані про смакоароматичні властивості хліба з різних сортів і автоматично коригувати процес випікання для досягнення оптимальних органолептичних характеристик продукту. Для цього система датчиків інтегрована в процес випікання хліба на різних етапах конвеєрної лінії, забезпечуючи комплексний контроль над органолептичними характеристиками продукту протягом всього циклу.

На рис. 2 представлено принципову схему конвеєру для випікання хліба. Конвеєрна лінія включає: камеру для вистоювання та шнековий дозатор, розміщені на початку конвеєра; форми для вистоювання і випікання виробів; піддон для збору готової продукції (випеченого хліба), розташований під конвеєром; пристрої для миття, обдування і змащування форм.

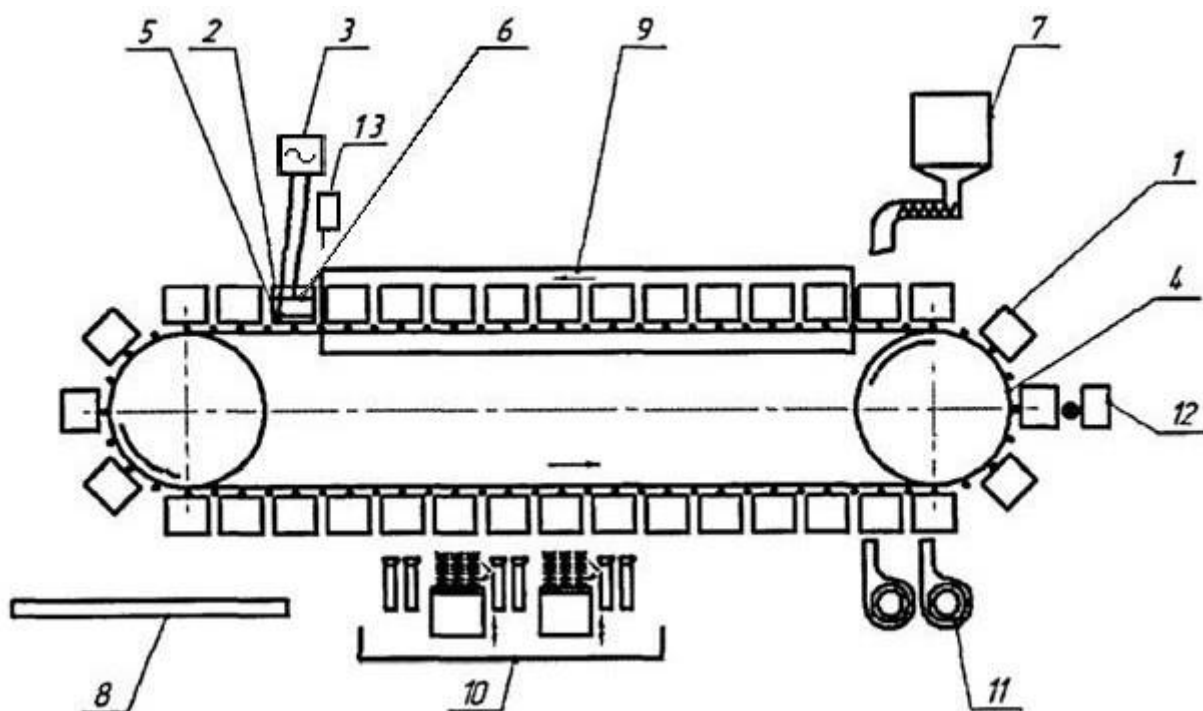


Рисунок 2 – Технологічна лінія-конвеєр для випікання хліба

- (1 – форма; 2 – пластины з нержавіючої сталі; 3 – джерело розподіленої генерації з перетворювачем високочастотної енергії (ПВЧЕ); 4 – пластинчастий конвеєр; 5 – пружинисті електроди; 6 – контакти; 7 – шнековий дозатор; 8 – піддон для вивантаження готових виробів; 9 – камера для вистоювання тістових заготовок; 10 – пристрої для миття форм; 11 – пристрої для обдування форм; 12 – пристрій з для змащування форм; 13 – пристрій для контролю запаху)

Конвеєрна лінія може бути розрахована на різну потужність і складатися із двох та більше форм для випікання. Між дозатором і системою електроживлення може бути встановлена камера для вистоювання, виконана у вигляді тунелю. Пристрій може включати пристосування для миття та обдування хлібних форм, розміщені під конвеєром після піддону, а також пристосування для змащення хлібних форм, розташоване між шнековим дозатором і пристосуванням для обдування хлібних форм.

В основі проекту технологічної лінії для випікання хлібу конвеєрна стрічка із закріпленими на ній хлібними формами. Хлібні форми мають особливу конструкцію, вони виготовлені із неелектропровідних елементів 1 з антипригарними властивостями, але містять вбудовані пластини із нержавіючої сталі 2, які підключаються до джерела розподіленої генерації з перетворювачем високочастотної енергії (ПВЧЕ) 3. Запропонована конструкція системи електроживлення ставить метою забезпечення технологічної лінії з виробництва хліба електрикою в періоди обмежень потужності енергосистеми та віялових відключень. Пропонується використовувати конвеєр пластинчастого типу 4 з жорстким закріпленням на ньому форм для випікання. На зовнішньому боці хлібних форм розміщено пружинисті електроди 5, встановлені з можливістю притиснення до контактів 6, які підключаються до системи електроживлення з ПВЧЕ.

На рис. 3 представлено окремо конструкцію форми для випікання 1. Корпус хлібних форм 13 виготовлено із діелектричного матеріалу. У кожний такий осередок вбудовуються пластини із нержавіючої сталі 2. За допомогою системи проводів і контактів 14, 15 до пластин із нержавіючої сталі 2 у потрібний момент підводиться ПВЧЕ.

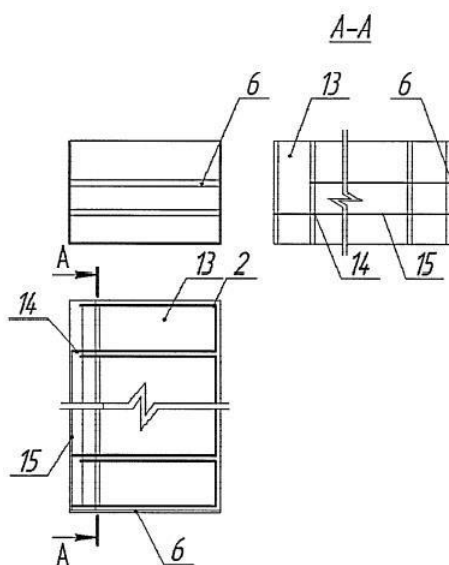


Рисунок 3 – Конструкція форми для випікання хлібу

Принцип дії технологічної лінії для випікання хлібу наступний:

1) порції тіста певної маси за допомогою ділильного автомату в форматі шнекового дозатора 7 потрапляють у хлібні форми 1, які жорстко закріплені на пластинах конвеєрної стрічки 4;

2) по ходу руху конвеєра електроди пружинистого типу 5 притискаються до контактів 6, розміщених на зовнішніх боках форм для випікання, при цьому до пластин з нержавіючої сталі 2 від ПВЧЕ підводиться електричний струм, за рахунок чого відбувається інтенсивний прогрів тістових заготовок з їх випіканням.

Випечені вироби охолоджуються під час подальшого руху конвеєрною стрічкою у формах. Після зміни напрямку руху, що видно з принципової схеми, хлібні вироби під дією власної ваги випадають із форм на піддон 8, розміщений безпосередньо під пластинчастим

конвеєром 4. Далі форми, в процесі свого руху конвеєрною стрічкою, піддаються механічному очищенню та миттю у спеціальному пристрої 10, який складається із системи валиків з щітками та шприцювального пристрою з підведенням мийної рідини. Після очищення форми висушуються, для цього вони проходять спеціальну систему обдування 11. За напрямком руху конвеєра на етапі, що передує заповненню форм тістовими заготовками, внутрішні поверхні хлібних форм змащуються жиром за допомогою спеціального пристрою 12. Після цього хлібні форми знову змінює геометричне розташування, прямує до шнекового дозатора і цикл повторюється.

Підвищення продуктивності підприємства при цьому досягається за рахунок відтворення безперервного циклу випікання формового хлібу. Можливість відтворення безперервного циклу виробництва хлібу навіть в умовах обмеженості постачання електрикою досягається:

- наявністю у складі технологічної лінії ділильного автомату зі шнековим дозатором;
- жорстким закріпленням хлібних форм на пластинах конвеєрної стрічки;
- використанням електрично-незалежних осередків із діелектричного матеріалу в формах для випікання;
- використанням автономної системи енергопідведення з пружними електродами;
- автоматичним вивантаженням випечених виробів із форм.

Засобів автоматизації пропонується використовувати у складі таких ключових елементів технологічної лінії для випікання хлібу:

- ділильному автоматі з шнековим дозатором;
- в камері для вистоювання тістових заготовок перед випіканням, розміщеній між ділильним автоматом і ділянкою випікання хлібу;
- системі електроживлення з джерелом розподіленої генерації та ПВЧЕ;
- модулі вивантаження готової продукції;
- пристрої для миття, очищення і обсушування хлібних форм;
- пристрої для змащування хлібних форм перед заповненням тістовими заготовками, вистоюванням та випіканням.

Для розміщення датчиків автоматичного контролю параметрів якості технологічного процесу випікання хлібу обрано такі позиції:

1) етап дозування тістових заготовок: електронний ніс розміщується біля дозувального автомату (позиція 7) для ідентифікації випаровувань від рідкого тіста, оцінки ступеня його готовності, визначення часу і параметрів вистоювання та випікання. Смакові сенсори, встановлені на цій ділянці, призначені для оцінки смакових якостей хлібу та ефективності змішування інгредієнтів;

2) етапи вистоювання та випікання хлібу: датчики типу «електронний ніс» встановлюються в зонах вистоювання та випікання виробів (позиція 13) для автоматичного контролю завершення вистоювання виробів перед випіканням та контролю готовності хлібобулочних виробів під час випікання відповідно;

3) етап охолодження та вивантаження: у зоні вивантаження готових виробів (позиція 8) для оцінки смакоароматичних властивостей готового хлібу розміщуються смакові сенсори та електронний ніс.

Таке розміщення інноваційних засобів автоматизованого контролю дозволяючи системі збирати дані на кожному етапі технологічного процесу виробництва хліба і забезпечує тим самим охоплення контролем усього виробничого циклу. Це дає змогу для швидкого реагування та керування параметрами технологічного процесу в режимі реального часу і сприяє забезпеченню стабільної якості технологічного процесу та кінцевого продукту.

Головними інноваційними складовими даної розробки є використання джерела розподіленої енергії з ПВЧЕ, а також вбудовані в процес мехатронні пристрої та системи автоматизованого контролю параметрів газового середовища (запаху), щільності, рН та інших характеристик для підвищення якості та продуктивності процесу виробництва хліба.

Використання у складі технологічної лінії модулів для дозування тістових заготовок; вистоювання тістових напівфабрикатів перед випіканням; випікання; вивантаження готових виробів; миття, обдування та змащування хлібних форм дозволяє автоматизувати виробничий процес та зменшити кількість ручних операцій.

При цьому використання мехатронного технологічного комплексу із системами автоматичного контролю параметрів запаху, щільності і рН може значно покращити якість виробництва та підвищити продуктивність процесу за рахунок відтворення безперервного виробничого циклу навіть в умовах обмеженості постачання енергосистеми. Потужність комплексу можна варіювати за рахунок кількості форм для випікання, розміщених на пластинчастому конвеєрі.

Запропоноване обладнання з інтегрованою до нього системою аналізу дозволить здійснювати безперервний процес випікання хліба як за традиційними рецептурами, так і інноваційних сортів, що зробить можливим розширення асортименту та/або збільшення продуктивності заводу. Технічний результат, досягнутий завдяки використанню запропонованої вдосконаленої конвеєрної лінії для випікання хліба, полягає у забезпеченні безперервного виробничого процесу, автоматизації виробництва, підвищенні продуктивності та зменшенні кількості ручних операцій.

Висновки. Отримані результати свідчать про значний потенціал використання інтегрованих технологій для підвищення якості та конкурентоспроможності хлібобулочної продукції під час енергетичних обмежень та віялових відключень електрики. Запропоновані методи можуть бути практично застосовані в харчовій промисловості, забезпечуючи споживачам регулярний доступ до високоякісних та інноваційних продуктів харчування.

Ця робота відкриває нові перспективи для подальших досліджень у галузі виробництва хліба, спрямованих на вдосконалення технологічних процесів та покращення якості продукції відповідно до сучасних стандартів та очікувань споживачів.

Список літератури

1. Loutfi, A. et al. Electronic noses for food quality: A review. *Journal of Food Engineering*. 2015. Vol. 144. P. 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.019>
2. Burlachenko, J. et al. Sample handling for electronic nose technology: State of the art and future trends. *TrAC – Trends in Analytical Chemistry*. 2016. Vol. 82. P. 222–236. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.06.007>
3. Калініченко А. О. Інтелектуальна мультисенсорна система для ідентифікації та оцінки якості харчових продуктів : дис. ... канд. хім. наук : 02.00.02 / Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет». Ужгород, 2021. 262 с. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/33195>
4. Швед С. М., Ельперін І. В. Системний аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2012. № 613(60). С. 44–46.
5. Шаруда С. С., Кишенько В. Д. Імітаційне дослідження системи управління технологічними процесами хлібозаводу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2011. № 3. С. 14–16.
6. Шаруда С. С., Кишенько В. Д. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2010. № 5/3 (47). С. 66–70.
7. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів : монографія; за заг. ред. В. П. Хорольського. Кривий Ріг : Видавець ФО-П Чернявський Д. О. 2019. 203 с.
8. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д.О., 2021. 311 с.

References

1. Loutfi, A. et al. (2015). Electronic noses for food quality: A review. *Journal of Food Engineering*, 144, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.019>
2. Burlachenko, J. et al. (2016). Sample handling for electronic nose technology: State of the art and future trends. *TrAC – Trends in Analytical Chemistry*, 82, 222–236. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.06.007>
3. Kalynychenko, A. O. (2021). *Intelektualna multisensorna systema dlia identyfikatsii ta otsinky yakosti kharchovykh produktiv : dys. kand. khim. nauk : 02.00.02* [Intellectual multisensor system for identification and quality assessment of food products: Dissertation ... Candidate of Chemical Sciences: 02.00.02], *Derzhavnyi vyshchyi navchalnyi zaklad «Uzhhorodskyi natsionalnyi universytet»* [State Higher Educational Institution "Uzhhorod National University"]. Uzhhorod. 262 p. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/33195>
4. Shved, S. M., Elperin, I. V. (2012). *Systemnyi analiz tekhnologichnoho protsesu vyrobnytstva khlіbobulochnykh vyrobiv* [System analysis of the technological process of bakery production], *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 613(60), 44–46.
5. Sharuda, S. S., Kyshenko, V. D. (2011). *Imitatsiine doslidzhennia systemy upravlinnia tekhnologichnykh protsesamy khlіbozavodu* [Simulation study of the technological process management system of a bread factory], *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu* [Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute], 3, 14–16.
6. Sharuda, S. S., Kyshenko, V. D. (2010). *Intelektualna systema stsenarnoho upravlinnia khlіbopekarskykh vyrobnytstvom* [Intelligent scenario management system for bakery production], *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern European Journal of Advanced Technologies], 5/3 (47), 66–70.
7. Khorolskyi, V. P. and others. (2019). *Intelektualni systemy upravlinnia vyrobnytstvom khlіbobulochnykh vyrobiv* [Intelligent management systems for the production of bakery products], Kryvyi Rih, Publisher of FO-P Chernyavskyi D.O. 203 p.
8. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Serebrenykov, V. M. (2021). *Avtomatyzovani systemy keruvannia vyrobnytstvom smart-produktiv kharchuvannia* [Automated control systems for the production of smart food products], Kryvyi Rih, Publisher Chernyavskyi D.O. 311 p.

Objective. The aim of the article is to develop an innovative method for the automated control of the flavor and aroma properties of bread during its production, with the goal of using it in existing conveyor lines for baking molded bread. The research is focused on expanding the capabilities of innovative automated technologies in the bakery industry and improving the quality and competitiveness of bakery products.

Methods. The article utilizes an analysis of current technologies based on a review of literature sources and theoretical modeling of an automated control system for the organoleptic properties of bakery products. For conducting expert studies in the industrial production of bakery products, it is proposed to use an innovative device for odor control – an electronic (bioelectronic) nose. Thus, the main element of the mechatronic device for the conveyor line of molded bread baking is determined to be an integrated sensor system for evaluating the aroma and taste qualities of the bread.

Results. The article examines the direction of improving industrial technological lines for the production of bakery products through the use of automation systems for production processes with decision support subsystems based on the use of fuzzy logic methods and algorithms, which will operate based on objective analysis of the bread production technological process in real-time. The regularity of objective assessment of critical indicators – markers of the technological process of bakery production – at its key stages is proposed to be ensured by using modern sensor devices to replace traditional organoleptic assessment based on the use of human sensory organs. The drawbacks of technological equipment for conveyor bread baking used in the domestic bakery

industry include a large number of preparatory operations that need to be carried out manually, the periodic nature of the bread baking process, lack of automation, and low productivity. The proposed equipment with an integrated system for analyzing organoleptic characteristics will enable a continuous bread baking process both for traditional recipes and innovative varieties, making it possible to expand the assortment and/or increase the plant's productivity. The technical result obtained from using the proposed improved conveyor line for bread baking is ensuring continuous production, automation of the production process, increased productivity, and reduction of the number of manually performed operations.

Keywords: *bakery product, technological process, organoleptic assessment, quality control, automation.*