

РОЗРОБКА РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ХЛІБА ДЛЯ ТЕРИТОРІЙ З ТЕХНОГЕННИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Остапенко І. М.

1 Вступ

Конкурентоспроможність підприємств з виробництва хлібопекарських виробів, які працюють на території з техногенним навантаженням й забрудненням, визначається якістю продукції та спроможністю забезпечувати населення безпечною продукцією.

Виробництво хлібобулочних виробів в регіонах з техногенним тиском вимагає використання технологій очищення води, та додавання до рецептури інших підсилюючих компонентів. Це призведе до підвищення якості хліба та захисту від мікробіологічного забруднення та псування.

Сучасний стан хлібопекарної галузі України тісно пов'язаний із розвитком технологічного обладнання для виробництва хліба. У всьому різноманітті існуючих технологій та обладнання для виробництва хлібобулочних виробів можна виділити групу обладнання – робототехнологічних інтенсифікаторів. Останні підвищують якість продукції для регіонів з високим рівнем забруднення.

Тому актуальними є дослідження щодо створення комплексів з робототехнологічними інтенсифікаторами очищення води та виробництва інноваційних сортів хліба з лікувально-профілактичними властивостями.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є технологічна лінія з виробництва хлібобулочних виробів. Головним обладнанням технологічної ділянки з приготування опари та замісу тіста є опарний апарат з системою транспортування опари до тістомісильних машин, тістомісильні машини. На стадії випікання використовують шафи для вистоювання та печі для випікання хліба.

Бродіння опари триває 2...4 години при початковій температурі 28 °С. Робочі технологічні характеристики опари залежать від вмісту в ній борошна, його сорту та якості, кількості та сили дріжджів, параметрів води.

Якість опари й режим бродіння контролюють за такими параметрами: підйомна сила, густина, вміст вологи.

Наступна стадія виробництва хліба пов'язана з технологічною операцією приготування тіста. Замість тіста виконується впродовж 3–20 хвилин при температурі 28...30 °С. Бродіння тіста відбувається протягом 1–2 годин.

Густина пшеничного тіста перед початком бродіння складає 1200 кг/м³, наприкінці бродіння – 500 кг/м³.

Одним із найбільш проблемних місць технологічної лінії з виробництва хлібобулочних виробів є стадія технологічного процесу опара–тісто. Традиційно це обумовлено необхідністю очищення та активації води, інших рідких компонентів (рослинна олія, молоко, сироватка, тощо); контролю якості борошна та дріжджів. А при додаванні до тіста додаткових функціональних інгредієнтів постає проблема диспергування їх за рахунок процесів коагуляції. Для однорідності тіста потрібно здійснювати контроль процесів кавітації та реологічних властивостей протягом усього циклу опара–тісто.

3. Мета та задачі досліджень

Метою роботи є вивчення можливостей комплексного використання ультразвукових технологій при виробництві хлібобулочних виробів, а саме: для контролю параметрів опари-тіста, інтенсифікації процесу з використанням робототехнологічного комплексу.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

1. Дослідити вплив ультразвукової кавітації на процеси приготування опари та тіста хлібопекарських галузей.
2. Запропонувати комплексне використання ультразвукових технологій й інтенсифікацію технологічних процесів виробництва хлібобулочних виробів.
3. Розробити архітектуру автоматизованих систем управління з робототехнологічними комплексами виробництва хліба.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Серед хлібобулочних виробів для профілактичного та дієтичного харчування можна виділити: вироби з підвищеним вмістом харчових волокон; вироби із диспергованого зерна; вироби, збагачені вітамінами та мінеральними речовинами; вироби з підвищеним вмістом йоду.

Вироби [1] будуть відповідати стандартам ЄС за умови зниження впливу різних шкідливих речовин, що вносяться до технологічного процесу з водою. Вченими [2, 3] розроблені технології приготування хлібопекарського і кондитерського тіста на основі кавітаційно-активованої води. Сьогодні відомі технології кавітаційної обробки сировини, які значно підвищують якість продукції хлібобулочних виробів [4].

Авторами наукових досліджень [5] розроблено новітнє високоавтоматизоване обладнання з виробництва хлібобулочних виробів для населення, що мешкає на територіях з техногенним тиском. Рівню роботизації виробництва продукції присвячена робота [6], а використання процесів роботизації в автоматизованому виробництві продукції докладно розроблено в [7]. Підвищення якості роботизації було досліджено авторами [8, 9].

В наведених вище наукових працях розроблено концепцію виробництва продуктів для екологічно чистих територій. Виробництво хліба для територій з техногенним тиском вимагає іншого підходу щодо систем контролю якості продукції й автоматизованого управління. Для розробки нової концепції обладнання та систем контролю й автоматизації продукції з лікувально-профілактичними характеристиками виникла необхідність проведення

додаткових досліджень:

- можливість використання процесів ультразвукової кавітації [10], та коагуляції при виробництві хліба з інноваційними характеристиками;
- розробка інноваційної продукції з підвищеною харчовою та біологічною цінністю, високими смаковими та органолептичними властивостями.

Таким чином, люди, які мешкають на екологічно забруднених територіях повинні одержувати безпечну продукцію за рахунок впровадження у виробництво розроблених нижче роботизованих комплексів.

5. Методи досліджень

Аналіз тенденцій розвитку сучасної робототехніки показує, що головними пріоритетами щодо створення роботів для харчової промисловості є робототехнологічні комплекси [6, 7]. Комплекси будемо називати інтелектуальними, якщо вони мають розвинуту сенсорику для оцінки внутрішніх параметрів об'єкту управління та вхідних змінних сировини, води, інших інгредієнтів. Узгодження роботи автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) виробництва хліба і робототехнологічних комплексів виконано за допомогою експертних систем (ЕС) та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР). Системи-працюють в реальному масштабі часу з постійною адаптацією рішень у відповідності до робочих характеристик обладнання, борошна, води, газу, електрики, тощо [5].

Принцип дії комплексів робототехнологічних – інтенсифікаторів виробництва хліба базується на механізмах дослідження впливу ультразвукових коливань (УЗ) на гетерогенне середовище: опару–тісто, рідину–рідину й рідину–тверде тіло. Робототехнологічні комплекси інтенсифікують процеси масообміну, процеси диспергування, розділення рідин і суспензій, а головне підсилюють різні хімічні та біологічні реакції. УЗ коливання забезпечують найбільш тонке диспергування (нереалізуєме іншими способами), збільшуючи міжфазну поверхню реагуючих елементів [10].

Ультразвукова хвиля, яка проходить через рідину, створює зони стиснення і зони розрідження. Ці зони змінюються місцями в кожний полуперіод хвилі. При цьому виникає знакозмінний тиск виду:

$$P = \sqrt{\rho \cdot C \cdot I} \cdot 4,6 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де ρ – густина, г/см³; C – швидкість розповсюдження ультразвукових коливань (УК), м/с; I – інтенсивність УК, Вт/см².

Якщо змінювати інтенсивність I в межах від 1 Вт/см² до 2,5 Вт/см², то з'являються процеси порушення однорідності й лінійності коливань рідини. В результаті цього явища виникають процеси кавітації [10].

Якщо кавітацію виконати керованою, то використання в процесах виробництва хлібобулочних виробів дає позитивний ефект [4].

Якщо використовувати частоту ультразвукових коливань 20, 30, 40,

100 кГц, то можна знайти найбільш оптимальну геометрію обладнання для перемішування різних компонентів при виробництві хлібобулочних виробів [2].

Ультразвукова кавітація викликає підсилене перемішування рідини мікропотоками, які утворюються навколо бульбашок, що коливаються. Таке перемішування особливо корисне в технологічному процесі виробництва хліба при збагаченні його вітамінами та мінеральними речовинами та йодом.

Лабораторні дослідження процесів кавітаційної дезінтеграції довели наступне:

- кавітаційна дезінтеграція покращує якісні показники хлібобулочних виробів, зменшуючи чутливість процесу бродіння опари до якості борошна;

- ультразвукове диспергування дозволяє підготувати суспензії (розчини солі, цукру, вітамінних компонентів), які мають значно вищі смакові характеристики та за органолептичними показниками продукція відповідає вимогам державних стандартів: вологість складає 48 %, кислотність 2 %, пористість 68 %;

- на частотах ультразвукових коливань 960–1600 кГц досягнуто найбільш високий рівень дисперсності суспензії;

- на частотах ультразвукових коливань 400, 600 кГц з ймовірністю 0,95 опосередковано можна ідентифікувати параметри: густини опари й тіста, підйомну силу опари, масопровідність й гідродинамічні умови бродіння опари та замісу тіста;

- на частотах ультразвукових коливань 100–120 кГц з ймовірністю 0,95 опосередковано можна ідентифікувати параметри концентрації газових бульбашок в технологічному середовищі опара–тісто

6. Результати досліджень

Підвищення якості хліба за рахунок використання ультразвукових технологій дозволяє запропонувати системи інтелектуального управління процесами підготовки опари–тісто з робототехнологічними інтенсифікаторами.

На рис. 1 наведено блок-схему робототехнологічного комплексу виробництва хліба. У технологічну лінію вбудовано: ультразвукові апарати очистки води, дезінтеграції, змішування та інтенсифікації мікробіологічних, біохімічних, колоїдних, хімічних, гідродинамічних процесів виробництва хліба.

У системі управління технологічним процесом підготовки сировини використані такі блоки з робототехнологічними УЗ комплексами:

- РУЗК 1, РУЗК 2, відповідно для очищення води та дезінтеграції дріжджів;

- РУЗК 3 – в камерах А, Б, В використані методи диспергування для приготування соляного розчину, цукрового розчину та дозування жирних продуктів з підсилюючими компонентами.

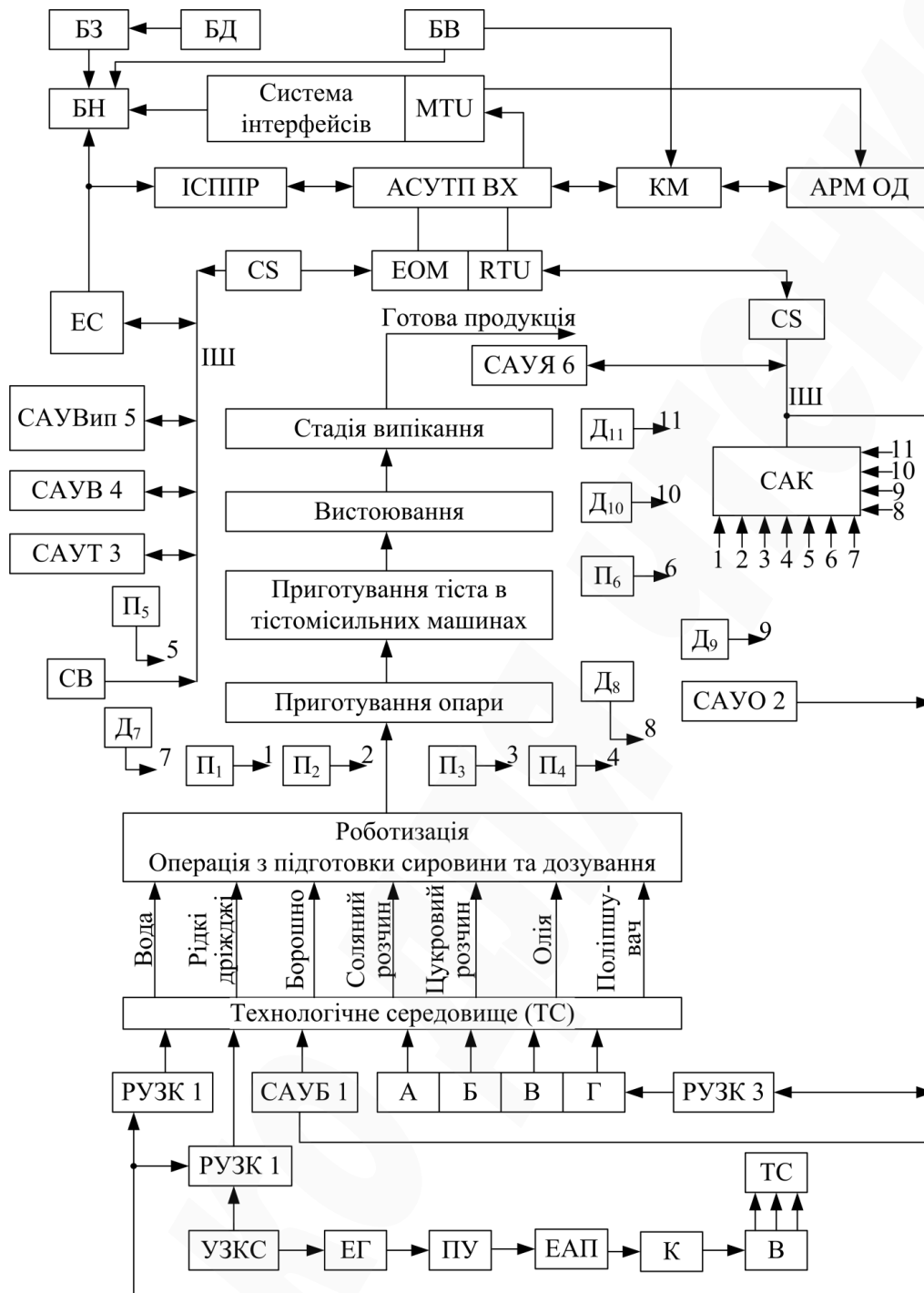


Рис. 1. Блок-схема робототехнологічного комплексу з виробництва хліба: БД – база даних; БЗ – база знань; БВ – блок виводу; БН – база навчання; MTU – Mater Terminal Unit; ІСППР – інтелектуальна система підтримки прийняття рішень; АСУТП ВХ – автоматизована система управління технологічним процесом виробництва хліба; КМ – корпоративний монітор; АРМ ОД – автоматизовані робочі місця операторів та диспетчера хлібозаводу; ЕС – експертна система; CS – Communication System; ЕОМ – електронно-обчислювальна машина; RTU – Remote Terminal; ІШ – інформаційна шина; САУЯ 6 – система адаптивного управління якістю продукції; САУВип 5 – система адаптивного управління стадією випікання хліба; САУВ 4 – система адаптивного управління стадією вистоювання; САУТ 3 – система адаптивного управління приготуванням тіста; САУО 2 – система адаптивного управління процесом приготування опари; САУБ 1 – система адаптивного управління стадією підготовки борошна; САК – система автоматизованого контролю; П₁, П₂, П₃, П₄, П₅, П₆ – п’єзодатчики; Д₇, Д₈, Д₉, Д₁₀, Д₁₁ – датчики; СВ – система візуалізації; РУЗК 1, РУЗК 2, РУЗК 3 – робототехнічні ультразвукові інтенсифікатори; УЗКС – ультразвукова система; ЕГ – електронний генератор; ПУ – пристрій узгодження; ЕАП – електроакустичний перетворювач; К – концентратор; В – випромінювач

Робототехнологічний УЗ комплекс складається із ультразвукової системи (УЗКС), яка взаємодіє з технологічним середовищем. До складу УЗКС входять електронний генератор (ЕГ), пристрій узгодження (ПУ), електроакустичний перетворювач (ЕАП), концентратор (К) та випромінювач (В). В процесі взаємодії п'єзоелектричної коливальної системи (К–В) з технологічним середовищем змінюється імпеданс системи за формулою [10]:

$$Z_K = R_K + jX_K = R_K - j\omega_m + j\frac{1}{\omega}E, \quad (2)$$

або після перетворень:

$$Z = Z_H + K_S R_K, \quad (3)$$

де Z – еквівалентний опір системи; Z_H – опір навантаження; R_K – внутрішній опір п'єзоперетворювача (П) ЕАП; K_S – параметр, який опосередковано характеризує інформацію про стан технологічного середовища, з яким взаємодіє УЗКС.

За допомогою системи автоматизованого контролю (САК) виконано контроль параметрів, які характеризують технологічну операцію приготування опари–тісто. Для цього використано систему п'єзодатчиків $П_1$ – $П_2$, $П_3$ – $П_4$, $П_5$ – $П_6$, вбудованих в технологічне середовище апаратів. Аналізатор складається із трьох аналогічних каналів:

1-й канал (п'єзодатчики $П_1$ – $П_2$) – опосередковано контролює густину та інші параметри опари (стадія замісу опари);

2-й канал (п'єзодатчики $П_3$ – $П_4$) – опосередковано контролює стадію бродіння опари–тісто, оцінюючи їх однорідність та гідродинамічні параметри та його властивості;

3-й канал (п'єзодатчики $П_5$ – $П_6$) – визначає концентрацію газових бульбашок в середовище опари–тісто.

При проходженні ультразвукових коливань через опару–тісто внаслідок поглинання, обумовленістю в'язкістю і теплопровідністю середовища, має місце ослаблення амплітуди сигналу у відповідності з виразом:

$$A_y = A_0 \cdot e^{-\alpha y}, \quad (4)$$

де A_0 – амплітуда коливань, яку випромінюють пристрої джерела ультразвукових коливань $П_1$, $П_3$, $П_5$; A_y – амплітуда коливань, які прийняті датчиками – п'єзоелементами ($П_2$, $П_4$, $П_6$); α – коефіцієнт затухання; y – відстань між п'єзоелементами.

Третій канал системи контролю налагоджено на резонансну частоту кавітаційних бульбашок рідина–опари–тісто. Канал оцінює оптимальні параметри кавітаційних впливів ультразвукового поля на опару–тісто.

Основним параметром, який характеризує ефективність кавітаційного впливу, є індекс кавітації (IK):

$$IK = \frac{V}{\Delta V}, \quad (5)$$

де V – об'єм рідини (опари, тіста); ΔV – об'єм кавітаційних бульбашок.

Індекс кавітації будемо також використовувати для опосередкованої оцінки ефективності роботи робототехнологічного ультразвукового комплексу, приготування опари та тіста.

В процесі розробки інтелектуальної системи управління робототехнологічним комплексом побудовано: бази даних (БД), бази знань (БЗ), експертну систему, інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень. Ідентифікацію технологічного процесу виробництва опари–тісто виконано за допомогою системи датчиків $П_2, П_4, П_6, Д_7-Д_9$, а також використано знання спеціалістів-технологів з експертного оцінювання технологічних процесів виробництва хліба. При цьому експерти звертались до апріорі одержаних знань, правил, моделей та характеристик опари й тіста, описаних авторами [1, 2, 5, 11, 12] та моделей взаємодії ультразвуку з біологічними об'єктами [4, 10]. У процесі експертних досліджень встановлено наступне:

- початкова температура бродіння опари (28°C) є нижчою, ніж температура бродіння тіста (30°C). Бродіння опари триває 3,5–4,5 годин залежно від вмісту в ній борошна, його сорту, якості та кількості дріжджів. Вологість та температура опари, газоутворююча здатність борошна та його кислотність, густина опари та підйомна сила, активна кислотність опари визначають реологічні властивості опари та тіста;

- процес приготування опари та тіста опосередковано можна контролювати за ароматичними властивостями, тобто дифузії парів води з поверхні (датчик запаху TGS2620 (Tagushi Gas Sensor, США) й система візуалізації (СВ)).

У подальшому експертна система (ЕС) з навченою штучною нейромережею (ШНМ) і електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) обробляє та оцінює інформацію, що надходить с датчиків:

- п'єзоелементів $П_2, П_4, П_6$;
- з системи датчиків $Д_7-Д_{11}$;
- датчиків, які контролюють параметри системи УЗКС Z_H, R_K, K_S, IK .

В результаті ідентифікації ЕС:

- визначає оптимальний час роботи робототехнологічних комплексів РУЗК 1, РУЗК 2, РУЗК 3 та потужності;

- виконує прогнозування параметрів:

- K_2 – гідродинамічні умови бродіння опари та замісу тіста;

- P_0 – підйомну силу опари; ρ_o, ρ_m – густину опари й тіста;

- λ_m – коефіцієнт масопровідності;

- a_m – коефіцієнт внутрішнього масо переносу, який залежить від

температури і вологи та свідчить про інтенсивну властивість борошна до зовнішніх збурень води, розчинів та інших підсилувачів.

Основне завдання експертної системи вибрати оптимальні уставки пропорційно інтегральних диференційних регуляторів (ПД-регуляторів) САУБ 1, САУО 2, САУТ 3, САУВ 4, САУВИП 5.

В процесі експериментальних досліджень встановлено:

– на частоті УЗК $f_1=600$ кГц сигнали з датчика $П_2$ (A_{y2}) опосередковано ідентифікують чинники K_2, P_0, ρ_0 ;

– на частотах УЗК $f_2=400$ кГц сигнали з датчика $П_4$ (A_{y1}) опосередковано ідентифікують чинники ρ_m, λ_m, a_m .

Архітектура інтелектуальної системи управління хлібозаводом з ІСППР включає:

– експертну систему (ЕС), блок навчання (БН), базу знань (БЗ), базу даних (БД), блок виводу (БВ), корпоративний монітор (КМ), автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів та диспетчера хлібозаводу та системи інтерфейсів (взаємодії з експертом, об'єктом та користувачем);

– АСУТП виробництва хліба (АСУТП ВХ) з ЕОМ на верхньому рівні та локальними системами нижнього (оперативного) рівня. В АСУТП виробництва хліба, побудованої на базі SCADA-систем [13, 14], включено три структурні компоненти:

1) RTU, MTU та CS. RTU (Remote Terminal Unit) – термінал, який обробляє інформацію з датчиків $П_1-П_6, Д_1-Д_{11}$;

2) систему візуалізації (машинного зору);

3) робототехнічні ультразвукові інтенсифікатори РУЗК 1, РУЗК 2, РУЗК 3. Системи RTU працюють в режимі жорсткого реального часу. В свою чергу MTU (Master Terminal Unit) представляє собою диспетчерський пункт управління з автоматизованими робочими місцями операторів та диспетчера. Основне завдання MTU – забезпечення інтерфейсу між оператором й системою управління хлібозаводом.

Система CS (CommunicationSystem) – це комунікаційна система (канали зв'язку, інформаційна шина (ІШ)).

Основне завдання системи CS передача сигналів управління на RTU. Робототехнологічний комплекс включає:

– системи адаптивного управління окремими технологічними процесами та стадіями САУБ 1, САУО 2, САУТ 3, САУВ 4, САУВип 5, САУЯ 6;

– систему автоматизованого контролю (САК), на вхід якої через порти 1–11 знаходять сигнали з датчиків $П_2, П_4, П_6$ – п'єзоелементів, які оцінюють опосередковано:

– реологічні властивості опари та тіста;

– підйомну силу опари;

– активну кислотність опари;

– кислотність опари та запах ($Д_7, Д_8$);

– формуючу здатність тістової заготовки ($Д_9$);

– тривалість вистоювання тістових заготовок;

- температуру вистоювання;
- вологість в шафі вистоювання.

Масу тістової заготовки контролює система датчиків D_{10} . Пористість хліба, його кислотність, формостійкість, вологість, температуру центру м'якіша, тривалість випікання тістових заготовок контролює опосередковано система датчиків D_{11} , та система візуалізації (СВ). В системі використано:

– апарат штучних нейронних мереж для реалізації пошуку рішень оптимальних режимів роботи стадій виробництва хліба. Це досягнуто розпізнаванням виробничих ситуацій та визначенням S_n – проблемних ситуацій в темпі с процесом виробництва хліба.

Розпізнавання ситуацій S_b й S_n із множини n ситуацій будемо називати процесом класифікації. При такій інтерпретації в якості вихідного результату на виході блоку виводу (БВ) системи ІСППР одержуємо номер ситуації S_b або S_n . Для навчання багаточислової ШНМ використано метод зворотного розповсюдження помилки [15]. У процесі навчання мережі експерт з навчання задає: швидкість навчання, число ситуацій S_b , S_n по кожній із технологічних стадій [15]. Такий підхід дає можливість значно підвищити точність розпізнавання ситуацій та оцінку стану робочих характеристик технологічних процесів: бродіння опари, однорідності тіста та управління процесами випічки хліба.

В АСУТП виробництва хліба використано алгоритми інтелектуального управління процесами підготовки сировини, приготування опари, тіста, вистоювання та випікання з експертним оцінюванням якості сировини, напівфабрикатів і готової продукції з підсистемами підтримки прийняття рішень, детально розроблених авторами [2, 5, 15]. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень на основі інформації датчиків блоків БД, БЗ, БН, БВ, експертної системи ЕС та САУБ 1, САУО 2, САУТ 3, САУВ 4, САУВИП 5, САУ 6 змінює режими роботи ультразвукових систем РУЗК 1, РУЗК 2, РУЗК 3. Це здійснюється через виконуючі механізми шляхом відпрацювання оптимальних управлінських впливів на гетерогенне технологічне середовище. Параметри борошна оцінює експертна система (ЕС) управління якістю продукції САУЯ 6.

Рекомендації останньої через RTU, CS надходять до системи автоматизованого управління стадією підготовки й дозування борошна (САУБ 1). ІСППР рекомендує в діалоговому режимі з використанням КМ спосіб покращення властивостей борошна, опари та тіста щодо вітамінізації властивостей хліба.

Таким чином, комплексний вплив частоти, інтенсивності та швидкості ультразвукових коливань, створення ефектів кавітації, диспергування, дезінтеграції, коагуляції дозволяє оптимізувати операції приготування опари та тіста. Тобто за допомогою вбудованих у технологічний процес виробництва хліба робототехнологічних комплексів можна досягнути більш високої якості хлібобулочних виробів.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. До сильних сторін розробленого робототехнологічного

комплексу виробництва хліба з функціональними характеристиками лікувально-профілактичного призначення віднесемо:

- очищення та активацію води;
- можливість використання в рецептурі борошна з низькою силою та/або із добавками;
- робототехнологічні інтенсифікатори забезпечують найбільш тонке диспергування інгредієнтів лікувального типу в тісто, чого не можливо досягнути традиційними методами;
- інтенсифікація процесів масообміну.

Weaknesses. До слабких сторін можна віднести додаткові витрати на створення робототехнологічних комплексів в існуючих технологічних лініях.

Opportunities. Серед можливостей комплексу слід відзначити створення інноваційних продуктів лікувально-профілактичного типу, що обумовлює очевидний соціальний ефект для людей, які мешкають на забруднених територіях.

Threats. До погроз віднесемо підвищення стандартів обслуговування технологічного обладнання та можливе збільшення вартості кінцевого продукту.

8. Висновки

1. Для виробництва хліба з лікувально-профілактичними характеристиками проведено дослідження керованих ультразвукових ефектів кавітації. Доведено, що процеси ультразвукової кавітації, дезінтеграції, коагуляції води, борошна, олії, рідких дріжджів, соляного й цукрового розчинів та інших інгредієнтів сприяють одержанню продукції лікувального типу.

Ультразвукова кавітація викликає підсилене перемішування рідини мікропотоками, які утворюються навколо бульбашок, що коливаються. Таке перемішування особливо корисне в технологічному процесі виробництва хліба для диспергування при збагаченні його вітамінами та мінеральними речовинами.

2. Розроблено системи автоматизованого контролю параметрів опари–тіста на базі високочастотних ультразвукових коливань. В системі інтенсифікації виробництва продукції, очищення води, дезінтеграції дріжджів та диспергування розсолів запропоновано використання робототехнологічних інтенсифікаторів. Доведено, що робототехнологічні комплекси з розвинутою сенсорною системою дозволяють знизити вміст солі та цукру в хлібі на 15–20 % без зміни смакових властивостей продукту.

3. Розроблено багаторівневу інтелектуальну систему автоматизованого управління технологічним процесом виробництва хліба. В архітектурі цієї системи використано робототехнологічний комплекс з:

- інтелектуальною системою підтримки прийняття рішень та блоками навчання;
- базами даних і знань;
- блоком виводу інформації на корпоративний монітор продуктивності;
- автоматизованим робочим місцем з системою інтерфейсів;
- штучною нейронною мережею розпізнавання аварійних, аномальних й нормальних ситуацій.

Література

1. Fedotova T. V. Innovative approaches to management of competitiveness of enterprises of baking industr // Visnyk ZhNAEU. 2015. Vol. 2, No. 1 (48). P. 130–137.
2. Vozniak A. V., Korenets Yu. M., Khorolskyi V. P. Robototekhnolohichni komplekxy v protsesakh vyrobnytstva khliba dlia rehioniv z tekhnolohichnym tyskom: proceedings // Innovatsiini aspekty rozvytku obladnannia kharchovoi i hotelnoi industrii v umovakh suchasnosti. Kharkiv: KhDUKht, 2017. P. 32–33.
3. Kapustin S. V., Krasulya O. N. Primenenie ul'trazvukovoy kavitatsii v pishhevoy promyshlennosti // Interaktivnaya nauka. 2016. Vol. 2. P. 101–103.
4. Shestakov S. D. Osnovy tekhnologii kavitatsionnoy dezintegratsii. Sankt-Peterburg: Neva-Press, 2001. 173 p.
5. Khorolskyi V. P., Kliuiev D. Yu., Korzhov S. M. Intelligent control system and monitoring of performance of technological equipment for bakery plants // Bulletin of Khmelnytsky national University. Engineering science. 2016. Vol. 6. P. 55–62.
6. Global Robotics Industry: Records Beats Record. 2013: 179.000 Industrial Robots Sold – 2014: Continued Increase Expected. 2014. URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robotics-industry-record-beats-record/>
7. White Paper on International Economy and Trade 2013. Ministry of Economy, Trade and Industry, June 2013. URL: <http://www.meti.go.jp/english/report/downloadfiles/2013WhitePaper/outline.pdf>
8. Johnny: An Autonomous Service Robot for Domestic Environments / Breuer T. et al. // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2011. Vol. 66, No. 1–2. P. 245–272. doi:[10.1007/s10846-011-9608-y](https://doi.org/10.1007/s10846-011-9608-y)
9. Flacy M. Robotic Alpha Machine Can Produce Six Hamburgers a Minute. 22 January 2013. URL: <http://www.digitaltrends.com/cool-tech/robot-dishes-up-six-hamburgers-a-minute/#!VTdic>
10. Hmelev V. N., Slivin A. N., Barsukov R. V. Primenenie ul'trazvuka vysokoy intensivnosti v promyshlennosti. Biysk: Izdatel'stvo Altayskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2010. 203 p.
11. Sharuda S. S., Kyshenko V. D. Intelligence system of scenario control of baking production // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2010. Vol. 5, No. 3 (47). P. 66–70. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3106>
12. Shved S. M., Elperin I. E. System analysis of technological process of bread making // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2012. Vol. 6, No. 3 (60). P. 44–46. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/5511>
13. SCADA sistema. SIMATIC WINCC V7. OOO Siemens. Informatsiya po produktam. URL: http://www.ste.ru/siemens/pdf/rus/WinCC_V73.pdf
14. Lange T. Intellegents SCADA Systems // Engineer DT. Automation and Technical Control. 2007. P. 26–30.
15. Intehrovane intelektualne upravlinnia tekhnolohichnymy protsesamy v ekonomichnykh systemakh korporatyvnykh pidpriemstv hirnycho-metalurhiinoho kompleksu: monograph / Khorolskyi V. P. et al.; ed. by Khorolskyi V. P. Dnipropetrovsk: Sich, 2008. 443 p.