

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК (641.53:534.321.9)-047.84 (045)

Коренець Ю. М.¹

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

Хорольська Т. В.¹

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

ІНЖЕНЕРНІ ПРИНЦИПИ КОНСТРУЮВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ КАВІТАЦІЇ

UDC (641.53:534.321.9)-047.84 (045)

Korenets Yu. M.¹

*Khorolskyi V. P., Grand PhD in Engineering sciences,
Professor¹*

Khorolska T. V.¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryvyi Rih, Ukraine), e-mail: korenets@donnuet.edu.ua

ENGINEERING PRINCIPLES OF EQUIPMENT DESIGN FOR THE FOOD INDUSTRY USING ULTRASONIC CAVITATION

Мета. Метою роботи є підвищення рівня інтелектуалізації обладнання для промислового виробництва хліба шляхом розробки та включення до технологічного процесу робототехнологічного комплексу з інтенсифікаторами технологічних операцій.

Методи. У роботі застосовані загальноприйняті технологічні, фізико-хімічні, біохімічні, мікробіологічні та органолептичні методи визначення якості сировини, напівфабрикатів та хлібобулочних виробів, методи математико-статистичної обробки експериментальних даних.

Результати. Проведено експериментальні дослідження впливу ультразвукових коливань на водопровідну воду з метою зменшення її жорсткості для використання в технологічних процесах виробництва хліба. Досліджено технології впливу ультразвукової кавітації на процеси приготування опари та тіста в хлібопекарній галузі. Запропоновано комплексне використання ультразвукових технологій у промисловому виробництві хлібобулочних виробів, спрямоване на підготовку інгредієнтів, інтенсифікацію технологічних процесів та автоматизований контроль й інтелектуальне управління з використанням робототехнологічних комплексів.

Ключові слова: хлібобулочний виріб, ультразвук, ультразвукова кавітація, робототехнологічний комплекс, інтенсифікатор процесу, інтелектуальне управління.

Постановка проблеми. Програма розвитку харчової промисловості України до 2030 року передбачає розробку інноваційних технологій виробництва продукції з новими властивостями, підвищення якості хлібобулочних виробів та збільшення термінів їх зберігання. Виробництво хлібобулочних виробів у регіонах із техногенним тиском вимагає використання технологій очищення води, додавання до рецептури інших підсилюючих компонентів з метою підвищення якості хліба та захисту від мікробіологічного забруднення й 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 виокремити групу технологій працезбереження. Ми пропонуємо використовувати у хлібопекарній промисловості ультразвукові технології з метою інтелектуального управління та роботизації технологічного процесу. До того ж технології роботизації та штучного інтелекту з мінімізацією участі людини у виробничих процесах є одним із принципів створення високоякісної продукції для регіонів з високим рівнем забруднення зовнішнього середовища.

У виробництві продуктів харчування в основному використовують три способи енергетичного впливу: подрібнення (шляхом різання або деформації), перемішування і термічне оброблення. Вони достатньо вивчені і досліджені закордонними та вітчизняними вченими [1; 2].

Статистичний аналіз споживання продуктів харчування на одну особу за рік в Україні (за даними 2015 року) довів, що споживання м'яса, риби, гастрономічних товарів, молока та молочних продуктів, яєць, плодів та ягід було значно нижчим відносно раціональних норм споживання. Лише фактичне споживання хлібопродуктів, рослинної олії, цукру, картоплі та овочів було вищим або дорівнювало нормам споживання. При цьому усереднена калорійність добового набору у 2015 році складала 2816 ккал, що значно нижче раціональної норми у 3370 ккал [3].

Таким чином, головним завданням соціально-економічних систем харчової промисловості є підвищення обсягів споживання продуктів харчування до раціональних норм. Його вирішення полягає у розробці інноваційної продукції із функціональними властивостями і технологій виробництва функціональних продуктів харчування для профілактичного та дієтичного харчування [4].

Іншим важливим аспектом діяльності харчової промисловості є виробництво продуктів із біологічної сировини рослинного та тваринного походження з метою створення інноваційної продукції харчування для екологічно несприятливих регіонів. Це вимагає інженерних рішень щодо створення спеціалізованого робототехнологічного обладнання з технологіями очищення води, дезінтеграції, змішування, випікання. З цією метою проведення наукових досліджень впливу кавітації, магнітного поля на сировину та середовище, в якому обробляються продукти харчування, проектування робототехнологічних комплексів та інтелектуальних систем багаторівневого управління є актуальним завданням розвитку харчової промисловості до 2030 року.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Серед хлібобулочних виробів для профілактичного та дієтичного харчування можна виокремити:

- вироби з підвищеним вмістом харчових волокон;
- вироби із диспергованого зерна;
- вироби, збагачені вітамінами та мінеральними речовинами;
- вироби з підвищеним вмістом йоду.

Вироби з підвищеною харчовою і біологічною цінністю, розроблені Т. В. Федотовою [4], на наш погляд, будуть відповідати стандартам ЄС за умови зниження впливу різних шкідливих речовин, що вносяться до технологічного процесу з водою. Справа в тому, що на більшості підприємств харчової промисловості Дніпропетровської області, розташованих на територіях із техногенним тиском, вода до технологічного процесу надходить із загальних міських водогонів, отже, потребує очищення до вимог стандартів ЄС.

Для територій із техногенним тиском отримання безпечної питної води для приготування продуктів харчування є актуальним завданням. Використання в технологіях виробництва, наприклад, хлібобулочних виробів лише очищеної води відповідно до стандартів ЄС вимагає використання безреагентних методів очищення води. Вони не забруднюють природне середовище хімічними речовинами, не впливають на організм людини, а в технологічних процесах виробництва продукції можуть бути вбудованими в технологічний процес виробництва у виді робототехнологічних комплексів. Вченими [6; 7] розроблені технології приготування хлібопекарського і кондитерського тіста на основі кавітаційно-активованої води, які супроводжуються гідратаційною структуризацією білків клейковини. Це дозволяє збільшити питомий об'єм хлібобулочних виробів, під-

вищити їх еластичність, зменшити черствіння та скоротити використання хлібопекарських покращувачів.

Сьогодні відомі технології кавітаційної обробки сировини, які значно підвищують якість продукції хлібобулочних виробів [5]. Так, наприклад, обробка цукрово-солевих розчинів у кавітаційному реакторі перед змішуванням їх із тістом дозволяє знизити вміст солі та цукру в хлібі на 15–20 % без зміни смакових властивостей продукту [8]. Крім цього, кавітаційна технологія дозволяє виробляти жирові емульсії для тіста лише із рослинних жирів і води, оскільки в процесі їх виготовлення відбувається частковий гідроліз жирів з утворенням ди- та моногліцеридів, які є природними емульгаторами [8].

Авторами наукових досліджень [9] розроблено новітнє високоавтоматизоване обладнання з виробництва хлібобулочних виробів для населення, що мешкає на територіях із техногенним тиском. Відомо, що в рецептурах виготовлення хліба для масових сортів широко використовують концентровані жиро-водні емульсії, складовими яких є рослинна олія, вода та соняшникові або соєві фосфатиди [1; 2; 4]. Така емульсія має рідку консистенцію та підвищену стійкість до розшарування: жиро-водні емульсії не розшаровуються більше 10 діб, а наявність фосфатидів підвищує фізіологічну цінність хлібобулочних виробів. Фосфатиди відіграють значну роль в окислювальних процесах у живому організмі, а саме: регулюють енергопостачання клітин та їх потребу у кисні; сприяють міжклітинному переданню інформації, нормалізують функції печінки, кишківника, серцево-судинної та імунної систем.

На думку автора [4], хліб із диспергованого зерна жита і пшениці, збагачений вітамінами, з підвищеним вмістом йоду, та хлібобулочні вироби з підвищеною біологічною цінністю дають змогу:

- проводити профілактику серцево-судинних захворювань та ожиріння;
- підтримувати або корегувати гомеостаз людини;
- підвищувати стійкість організму до несприятливих дій довкілля;
- прискорювати одужування хворих;
- підвищувати тонус у стресових ситуаціях та при фізичних навантаженнях (наприклад, при роботі на підприємствах гірничо-металургійного комплексу);
- боротися з йододефіцитом тощо.

Отже, в процесі виробництва хлібобулочних та макаронних виробів для територій із техногенним тиском необхідно вивчити можливості процесів ультразвукової кавітації, кавітаційної ерозії, ультразвукової коагуляції при одержанні зернової суспензії. Це дозволить розробляти інноваційні продукти зі значно підвищеною харчовою та біологічною цінністю, високими смаковими та органолептичними властивостями для людей, які мешкають на екологічно забруднених територіях. Виробництво такої продукції може виконуватися за допомогою роботехнологічних комплексів.

Метою статті є вивчення можливостей комплексного використання ультразвукових технологій (УЗТ) як для підвищення якості рецептурних компонентів та інтенсифікації, так і для підвищення рівня інтелектуалізації обладнання для промислового виробництва хліба шляхом розробки і включення до технологічного процесу роботехнологічного комплексу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо спочатку принцип дії ультразвукової кавітації (ultrasonic cavitations), яка являє інтерес для розробки конструкції роботехнологічного обладнання, а також виробництва екологічно безпечної продукції для районів із техногенним навантаженням. Кавітація — це утворення розриву рідини під дією інтенсивних ультразвукових коливань. Якщо процеси кавітації виконати керованими, то використання її в процесах виробництва хлібобулочних виробів дає позитивний ефект [12].

Сутність ультразвукової кавітації полягає у наступному. Розглянемо момент, якому відповідає фаза розрідження хвилі, коли рідина піддана дії сил всебічного розтягнення. У результаті цього виникають розриви в ослаблених зонах концентрації. Наприклад, в зонах концентрації твердих мікроскопічних частинок газових та повітряних бульбашок (борошна, солі, олії, дріжджів). Таке середовище будемо називати гетерогенним. Якщо на гетерогенне середовище спрямувати ультразвукові коливання, то утворена в результаті розривів порожнина через декілька періодів коливань різко збільшується й приймає

сферичноподібну форму. В подальшому порожнина заповнюється парами рідини та розчиненими в рідині газами, які дифундують у бульбашки. Дуже швидко такі бульбашки зачиняються, а викинута із них пара та гази стають іонізованими й утворюють в рідині різні хімічно активні радикали. У цьому процесі виникає важливий фактор, який визначає хімічну дію ультразвукових коливань. Процес зачинення супроводжується утворенням ударної хвилі, тиск в якій може досягати, залежно від радіусу бульбашки та часу зачинення, десятки і більше МПа. Ці ударні хвилі — основний фактор, який визначає механічні рушійні сили дії кавітації.

Мінімальний звуковий тиск або мінімальну інтенсивність ультразвукових коливань будемо називати порогом кавітації.

Авторами наукових праць [10; 12] доведено, що поріг кавітації залежить від таких чинників: природи рідини, ступеню її концентрації, розміру газових бульбашок або зважених частинок, температури рідини та гідростатичного тиску.

У табл. 1 наведено експериментальні результати впливу ультразвукових коливань на криворізьку водопровідну воду. Дослідження залежності порогу ультразвукової кавітації від частоти ультразвукових коливань (УЗК) для водопровідної води міста Кривий Ріг виконано за температури 20 °С та в умовах звичайного атмосферного тиску.

Таблиця 1 — Експериментальні дослідження залежності впливу ультразвукової кавітації від частоти УЗК

Частота, кГц	Звуковий тиск, МПа	Інтенсивність звуку, Вт/см ²
3	0,05	0,16
15	0,05–2,00	0,16–2,6
40	0,20–0,39	2,7–4,0
175	0,43–0,57	8–10
365	0,71–2,03	35–225
500	1,22–2,53	100–380
1000	3,55–8,61	5000–12000

Для інших рідин або сумішей рідин величина порогу ультразвукової кавітації буде значно відрізнятись від наведених в табл. 1.

При збільшенні інтенсивності звуку вище граничного значення на місці одиничних бульбашок з'являється кавітаційне поле.

Кавітація практично проявляється на незначній відстані від поверхні випромінювача.

У процесі зачинення бульбашок утворюється кавітаційний шум, спектральний склад якого характеризується гармонічними та субгармонічними коливаннями вихідного звукового поля, а також безперервним спектром. Керовані ультразвукові кавітаційні процеси можуть утворювати ударні хвилі та характеризуються кількістю утворених кавітаційних бульбашок.

Як було відзначено дослідниками [10], інтенсивність ударної хвилі залежить від радіусу бульбашки. Зі збільшенням температури гетерогенного середовища зростає кількість утворених за одиницю часу бульбашок. При цьому ступінь кавітації спочатку зростає, але при подальшому збільшенні температури пружність бульбашки зростає дуже швидко. Швидкість зачинення, а відповідно, і кавітації проходить через максимум, потім починає спадати і може знизитися до нуля.

Стан максимуму визначається робочою рідиною та розчиненими в ній компонентами. Важливим є також ступінь розчинення в рідині газу, який знаходиться над нею.

На рис. 1 наведено залежність кавітаційних впливів на воду та олію при різних температурах t °С. ΔG — кількість речовин, виділених в результаті кавітаційної ерозії.

Великий максимум для води $t_1=60$ °С пояснюється малою розчинністю кисню й азоту у воді (крива 1). Крива 2 для олії також має нелінійну залежність з максимумом при $t_2=30$ °С. Крива 3 — для розчину цукру, а крива 4 — для розчину харчової солі.

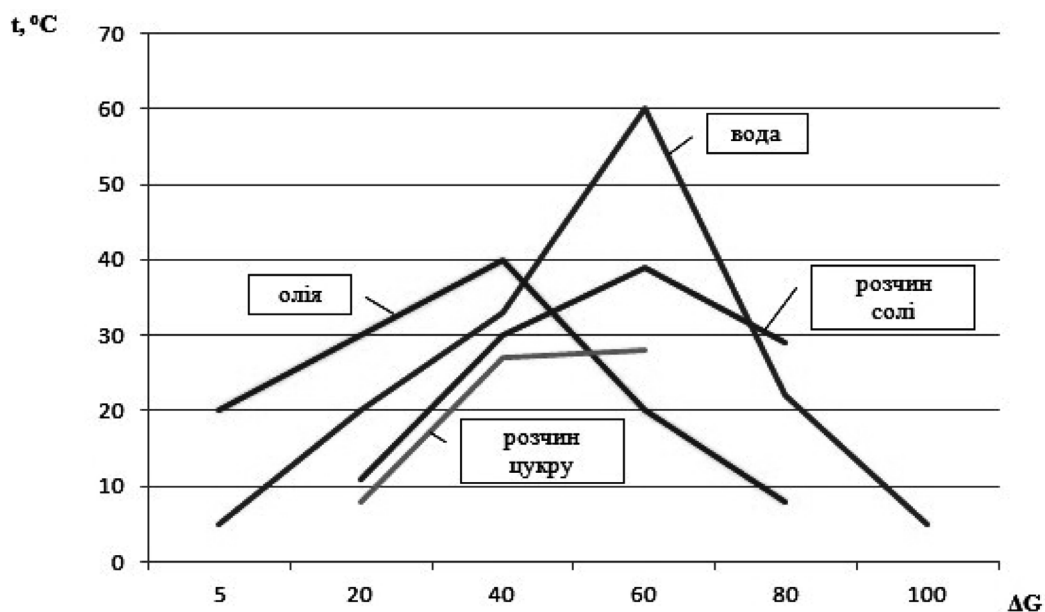


Рисунок 1 — Залежність кавітаційних впливів на воду, водні розчини та олію від температури

У табл. 2 наведені експериментально-лабораторні результати оцінки якості води, яка оброблена ультразвуковими коливаннями з використанням зануреного ультразвукового апарату «Волна» УЗТА-04/22 ОМ.

Таблиця 2 — Результати оцінки якості криворізької води, обробленої ультразвуковими коливаннями

Час впливу ультразвукових коливань на воду, хв.	Потужність ультразвукових хвиль, Вт	Температура, °C	pH середовища	Жорсткість загальна, мг×ЕКВ/дм ³
1	120	29,5	7,681	6,8
	180	30,0	7,650	6,6
	240	33,0	7,628	6,4
3	120	32,1	7,60	6,6
	180	35,0	7,57	5,7
	240	37,1	7,56	5,4
5	120	37,2	7,57	6,4
	180	43,1	7,54	5,4
	240	48,3	7,53	5,2
Контрольні параметри		20,0	7,90	7,4

Аналіз експериментальних результатів, наведених на рис. 1 та в табл. 1–2, свідчить про те, що ультразвукова кавітація підвищує якість води, олії, розчинів солі та цукру з точки зору підвищення газоутворювальної здатності борошна і реологічних властивостей опари. Якість очищеної води можна контролювати за допомогою параметрів pH, при цьому загальна жорсткість води під час впливу на неї ультразвукових коливань тривалістю від 1 до 5 хвилин змінюється до 5,2 мг×ЕКВ/дм³ від контрольного 7,4 мг×ЕКВ/дм³.

Якщо використовувати частоту ультразвукових коливань 20, 30, 40, 100 кГц, можна знайти найбільш оптимальну геометрію обладнання для перемішування різних компонентів при виробництві хлібобулочних виробів.

Ультразвукова кавітація викликає підсилене перемішування рідини мікропотоками, що утворюються навколо бульбашок, які коливаються. Таке перемішування особливо корисне в технологічному процесі виробництва хліба при збагаченні його вітамінами й мінеральними речовинами та йодом. У цьому випадку необхідно використати процес ультразвукового диспергування [10].

Ультразвукове диспергування (ultrasonic dispersion) — перехід твердої фази у дисперсний стан із утворенням суспензії з високою однорідністю частинок. Цей процес може виникати під дією ультразвукових коливань в харчовій промисловості, наприклад, в гетерогенному середовищі при використанні ферментативної переестерифікації, яка виключає наявність трансізоластерів для виробництва жирових продуктів у хлібопеченні [8].

Для початку процесу ультразвукового диспергування необхідно визначити порогове значення інтенсивності ультразвуку. Воно визначається кавітаційною стійкістю рідини, яку використовують в якості дисперсійного середовища, і характером та величиною сил взаємодії між окремими частинами твердої фази і твердої фази з рідиною. Зі зростанням інтенсивності ультразвукових коливань швидкість процесу ультразвукового диспергування збільшується. При цьому швидкість суттєво залежить від характеру і величини сил взаємодії між окремими частинками.

Лабораторні дослідження показали, що швидкість процесу диспергування збільшується зі збільшенням крихкості, зменшенням твердості й змотування частинок солі, дріжджів, борошна, води, олії, маргарину, масла та інших компонентів для стадій підготовки, дозування сировини та замісу опари.

Лабораторні дослідження процесів кавітаційної дезінтеграції довели таке:

- 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 960–1600 кГц досягнутий найбільш високий рівень дисперсності суспензії;
- для одержання таких високих показників необхідно провести дослідження щодо використання ультразвукової кавітації для очищення води відповідно до вимог стандарту ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості».

На рис. 2 наведено блок-схему робототехнологічного комплексу виробництва із вбудованими в технологічну лінію ультразвуковими апаратами очистки води, дезінтеграції, змішування та інтенсифікації мікробіологічних, біохімічних, колоїдних, хімічних, гідродинамічних процесів виробництва хліба.

У системі управління технологічним процесом підготовки сировини використані такі системи з ультразвуковими комплексами: УЗК 1, УЗК 2, відповідно для очищення води та дезінтеграції дріжджів; УЗК 3 — в камерах А, Б, В використані методи диспергування для приготування соляного розчину, цукрового розчину та дозування жирових продуктів із підсилювальними компонентами.

Контроль параметрів очищеної води, борошна, газоутворювальної здатності борошна, густини рідких дріжджів, густини соляного й цукрового розчинів та інших компонентів, вологості опари, густини опари, температури тіста, вологості тіста, кислотності опари, підйомної сили тістової заготовки, формоутворювальної здатності тістової заготовки, тривалості вистоювання тістових заготовок, пористості тістових заготовок, температури в шафі вистоювання, маси тістової заготовки виконано за допомогою систем автоматизованого контролю САК 1, САК 2, САК 3, САК 4, САК 5. Інформація до систем контролю надходить інформаційною шиною ІШ до автоматизованої системи управління технологічним процесом виробництва хліба АСУТП.

У 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 [9; 11; 12].

Підсистеми підтримки прийняття рішень на основі інформації датчиків, експертних систем через механізми виконання змінюють режими роботи ультразвукових систем УЗК 1, УЗК 2, УЗК 3, УЗК 4, УЗК 5 шляхом вибору оптимальних управлінських впливів

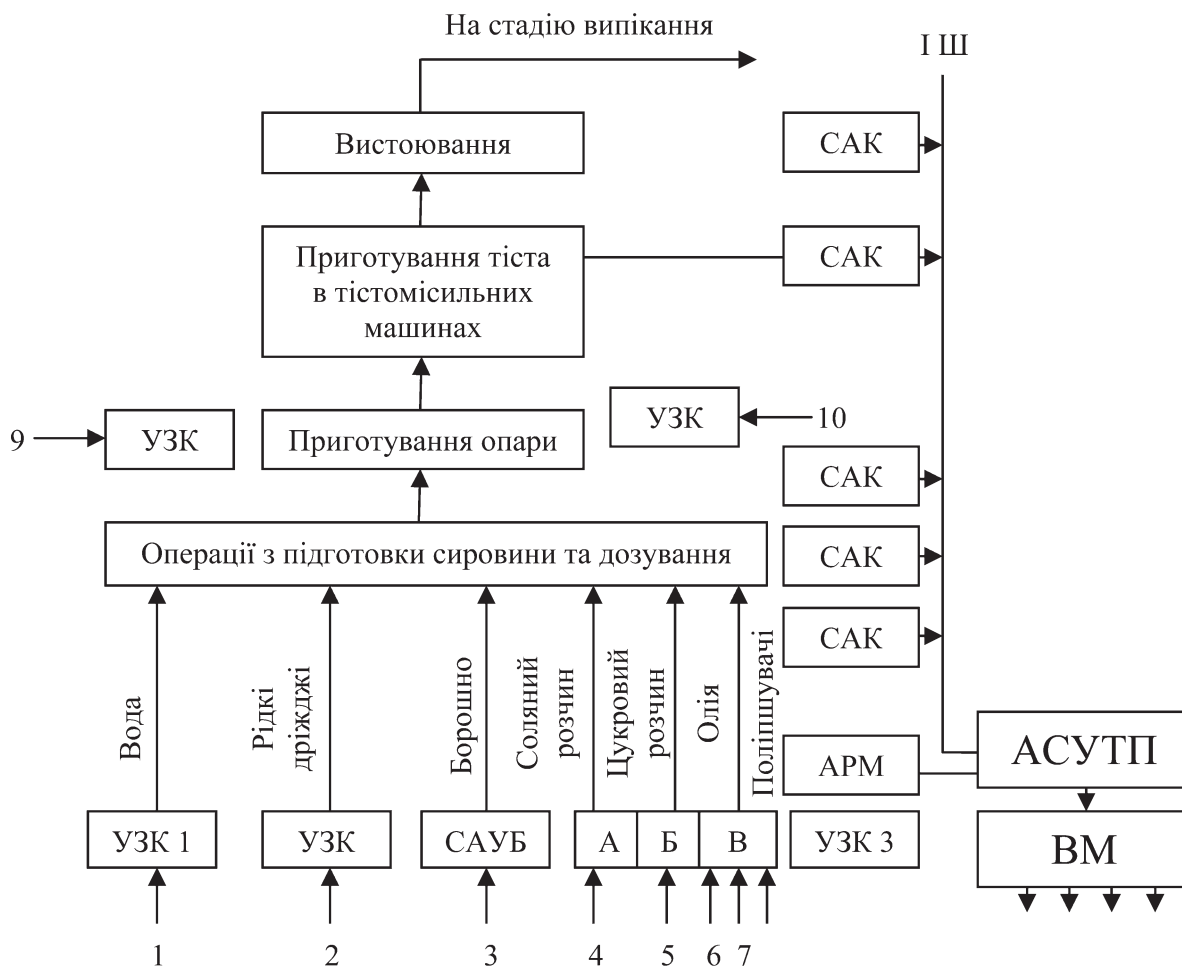


Рисунок 2 — Блок-схема робототехнологічного комплексу стадії підготовки сировини, опари та тіста

1–10 на гетерогенне середовище. Параметри борошна оцінює експертна система управління якістю, рекомендації якої через порт 3 надходять до системи автоматизованого управління борошном (САУБ) щодо вибору способу покращення властивостей тощо.

Таким чином, комплексний вплив частоти, інтенсивності та швидкості ультразвукових коливань, створення ефектів кавітації, диспергування, дезінтеграції, коагуляції дозволяє за допомогою вбудованих у технологічний процес виробництва хліба робототехнологічних комплексів покращити операції приготування опари та тіста, а отже, і якість хлібобулочних виробів.

Висновки. Запропоновано інноваційний підхід до удосконалення роботи обладнання хлібо заводів шляхом використання керованих ефектів кавітації, диспергування, дезінтеграції, коагуляції води, борошна, олії, рідких дріжджів, соляного й цукрового розчинів та інших інгредієнтів і розробки вбудованих у технологічну лінію виробництва хліба робототехнологічних комплексів.

Доведено, що підвищення рівня інтелектуалізації обладнання виробництва хліба досягнуто за рахунок АСУТП виробництва хліба з експертними системами оцінювання якості сировини, напівфабрикатів і готової продукції, цифрових систем контролю води, розсолів та стадій дозування, приготування опари, бродіння опари, замісу тіста, вистоювання тістових заготовок з ультразвуковими інтенсифікаторами процесів.

Список літератури / References

1. Остриков, А. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / [А. Н. Остриков, О. В. Абрамов, А. В. Логинов и др.]; под ред. А. Н. Острикова. — СПб.: ГИОРД, 2012. — 616 с.
Ostrikov, A. N., Abramov, O. V., Loginov, A. V. & others (2012). *Protsessyi i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Processes and devices of food production]. St. Petersburg, GIORД, 616 p.

2. Хроменков, В. М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик / В. М. Хроменков. — СПб. : ГИОРД, 2014 — 496 с.

Khromenkov, V. M. (2014). *Tehnologicheskoe oborudovanie hlebozavodov i makaronnyih fabrik* [Technological equipment of bakeries and macaroni factories]. St. Petersburg, GIORД, 496 p.

3. Пасхавер, Б. И. Прибыльность и рентабельность сельскохозяйственных предприятий / Б. И. Пасхавер // Экономика і прогнозування. — 2016. — №3. — С. 66—76.

Paskhaver, B. I. (2016). *Pribyilnost i rentabelnost selskohozyaystvennyih predpriyatiy* [Profitability and profitability of agricultural enterprises]. *Ekonomika i prognozuvannya* [Economics and Forecasting], no. 3, pp. 66—76.

4. Федотова, Т. В. Підвищення конкурентоспроможності підприємств хлібопекарської галузі: дис. ... канд. екон. наук / Т. В. Федорова. — Житомир, 2015. — 204 с.

Fedotova, T. V. (2015). *Pidvischennya konkurentospromozhnosti pidpriemstv hlibopekarskoyi galuzi* [Improving the competitiveness of enterprises baking industry]. Zhytomyr, 2015, 204 p.

5. Безвідходна переробка м'яса з високим вмістом сполучної тканини з використанням ультразвуку : монографія / [Г. В. Дейниченко, Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний та ін.]. — Харків : Факт, 2012 — 192 с.

Deynychenko, G. V., Postnov, G. M., Chekanov, M. A., Chervoniy, V. M., Nechiporenko, D. A., & others (2012). *Bezvidhodna pererobka m'ysa z visokim vmistom spoluchnoyi tkanini z vikoristannyam ultrazvuku* [Meat processing waste high in connective tissue using ultrasound], Kharkiv, Fakt Publ., 192 p.

6. Капустин, С. В. Применение ультразвуковой кавитации в пищевой промышленности / С. В. Капустин, О. Н. Красуля // Интерактивная наука. — 2016. — № 2. — С. 101—103.

Kapustin, S. V., Krasulya O. N. (2016). *Primenenie ultrazvukovoy kavitatsii v pischevoy promyshlennosti* [Application of ultrasonic cavitation in the food industry]. *Interaktivnaya nauka* [Interactive science], no. 2, pp. 101—103.

7. Асенова, Б. К. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов / Б. К. Асенова, К. Ж. Амирханов, М. Б. Ребезов // Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-производства. — 2013 — № 1. — С. 313—316.

Asenova, B. K., Amirkhanov, K. Zh., Rebezov, M. B. (2010). *Tehnologiya proizvodstva funktsionalnyih produktov pitaniya dlya ekologicheskii neblagopriyatnyih regionov* [Technology of production of functional food for ecologically unfavorable regions]. *Torgovo-ekonomicheskie problemyi regionalnogo biznes-proizvodstva* [Trade and economic problems of regional business production], no. 1, pp. 313—316.

8. Шестаков, С. Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции / С. Д. Шестаков. — СПб : Нева-Пресс, 2001, 173 с.

Shestakov, S. D. (2001). *Osnovyi tehnologii kavitatsionnoy dezintegratsii* [The fundamentals of the technology of cavitation disintegration]. St. Petersburg, Neva-Press Publ., 173 p.

9. Хорольський, В. П. Інтелектуальна система управління та моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів / В. П. Хорольський, Д. Ю. Ключев, С. М. Коржов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2016 — №6 — С. 55—62.

Khorolsky, V. P. Klyuyev, D. Y., Korzhov, S. M. (2016). *Intelektualna sistema upravlinnya ta monitoringu robochih harakteristik tehnologichnogo obladnannya hlibobulochnih zavodiv* [Intelligent management and monitoring of performance of technological equipment bakery plants]. *Visnik Hmelnytskogo natsionalnogo universitetu. Tehnichni nauki* [Herald of Khmelnytsky National University. Engineering.], no. 6, pp. 55—62.

10. Федоткин, И. М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности: Теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов. — Ч. I / И. М. Федоткин, И. С. Гулый ; под общ. ред. И. М. Федоткина. — Киев : Полиграф-книга, 1997. — 839 с.

Fedotkin, I. M., Guliy, I. S. *Kavitatsiya, kavitatsionnaya tehnika i tehnologiya ih ispolzovaniya v promyshlennosti (teoriya, raschyoty i konstruksii kavitatsionnykh apparatov)* [Cavitation, cavitation technology and technology of their use in industry (theory, calculations and designs of cavitation apparatus)]. Part 1. Kiev, Polygraphbook, 940 p.

11. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу: монографія / [В. П. Хорольський, В. Б. Хоцькіна, Т. В. Хорольська, Є. К. Бабець]; за наук. ред. В. П. Хорольського. — Дніпропетровськ : Січ, 2008. — 443 с.

Khorolskiy, V. P., Hotskina, V. B., Khorolska, T. V. and Babets, Ye. K. (2008). *Intehrovane intelektualne upravlinnia tekhnologichnymy protsessamy v ekonomichnykh systemakh korporatyvnykh pidpryemstv hirnycho-metallurhiinoho kompleksu Ukrainy* [Integrated Intelligent Control of Technological Processes in Economic Systems of Corporate Mining and Metallurgic Complex], Dnepropetrovsk, Sich, 443 p.

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

Sharuda, S. S., Kyishenko, V. D. (2010). *Intelektualna sistema stsenarnogo upravlinnya hlibopekarskim virobnytstvom* [Intelligent management of bakery production scenario]. *Shidno-Evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy* [Eastern European Journal of advanced technologies], no. 5/3 (47), pp. 66–70.

Цель. Целью работы является повышение уровня интеллектуализации оборудования для промышленного производства хлеба путем разработки и включения в технологический процесс робототехнологических комплексов с интенсификаторами технологических операций.

Методы. В работе применены общепринятые технологические, физико-химические, биохимические, микробиологические и органолептические методы определения качества сырья, полуфабрикатов и хлебобулочных изделий; методы математико-статистической обработки экспериментальных данных.

Результаты. Проведены экспериментальные исследования влияния ультразвуковых колебаний на водопроводную воду с целью уменьшения ее жесткости для использования в технологических процессах производства хлеба. Исследована технология воздействия ультразвуковой кавитации на процессы приготовления опары и теста в хлебопекарной отрасли. Предложено комплексное использование ультразвуковых технологий в промышленном производстве хлебобулочных изделий, направленное на подготовку ингредиентов, интенсификацию технологических процессов, автоматизированный контроль и интеллектуальное управление с использованием робототехнологических комплексов.

Ключевые слова: хлебобулочное изделие, ультразвук, ультразвуковая кавитация, робототехнологический комплекс, интенсификатор процесса, интеллектуальное управление.

Purpose. The purpose of the article is to increase the level of intellectualization of equipment for the industrial production of bread by developing and incorporating into the technological process of robotic technological complexes with intensifiers of technological operations.

Methods. The standard technological, physicochemical, biochemical, microbiological and organoleptic methods for determining the quality of raw materials, semifinished products and bakery products, methods of mathematical-statistical processing of experimental data are applied in the work.

Results. Experimental studies of the influence of ultrasonic vibrations on tap water have been carried out to reduce its rigidity for use in technological processes of bread production. The technology of ultrasonic cavitation influence on the processes of preparation of predough and dough in the baking industry is investigated. The complex use of ultrasonic technologies in the industrial production of bakery products is proposed, aimed at the preparation of ingredients, the intensification of technological processes, automated control and intellectual control using robotic technological complexes.

Key words: bakery, ultrasound, ultrasonic cavitation, robot-technological complex, process intensifier, intelligent control.