

ISSN 2079-4827

Міністерство освіти і науки України
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського

ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Тематичний збірник наукових праць

№ 1 (40) 2020

Збірник наукових праць заснований у 1998 році

Виходить двічі на рік

Кривий Ріг
ДонНУЕТ
2020

Редакційна колегія:

Головний редактор — В. П. Хорольський
Заступник головного редактора — Р. П. Никифоров
Відповідальний редактор серії — Т. О. Ружинська
Відповідальний секретар серії — А. В. Слащева

Редакційна колегія серії:

Віннікова Л. Г., д-р техн. наук (Одеський національний університет харчових технологій);
Гніщевич В. А., д-р техн. наук (Київський національний торговельно-економічний університет);
Гринченко О. О., д-р техн. наук (Харківський державний університет харчування та торгівлі);
Дейниченко Г. В., д-р техн. наук (Харківський державний університет харчування та торгівлі);
Михайлов В. М., д-р техн. наук (Харківський державний університет харчування та торгівлі);
Никифоров Р. П., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського);
Омельченко О. В., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського);
Пивоваров П. П., д-р техн. наук (Харківський державний університет харчування та торгівлі);
Погребняк В. Г., д-р техн. наук (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу);
Попова С. Ю., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського);
Прісс О. П., д-р техн. наук (Таврійський державний агротехнологічний університет);
Слащева А. В., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського);
Сімакова О. О., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського);
Хомич Г. П., д-р техн. наук (Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»);
Хорольський В. П., д-р техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського);
Юдіна Т. І., д-р техн. наук (Київський національний торговельно-економічний університет);
Возняк Юрій, канд. фіз.-мат. наук (Центр молекулярних і макромолекулярних досліджень Польської Академії наук);
Хамісабаді Джавад, канд. наук із промислового менеджменту (Факультет інженерії та менеджменту, Ісламський університет Азада, Тегеран, Іран).

Журнал зареєстровано в Міністерстві юстиції України.
Реєстраційний номер КВ № 13181-2065ПР від 25.07.2007 р.

Засновник та видавець Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4929 від 07.07.2015 р.

Журнал підписано до друку вченою радою Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, протокол № 19 от 24.06.2020 р.

Мова видання: українська, російська, англійська

Усі права захищені.

Передрук і переклади дозволяються лише з відома автора та редакції.

Адреса видавця та редакції:

50042, м. Кривий Ріг, вул. Курчатова, 13.
тел. (0564) 409-77-97, e-mail: obladnannya@donnuet.edu.ua, www.donnuet.edu.ua

© Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020

ISSN 2079-4827

Ministry of Education and Science of Ukraine
Donetsk National University of Economics and Trade
named after Mykhailo Tuhan-Baranovsky

FOOD PRODUCTION EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES

Thematic collection of scientific works

No 1 (40) 2020

Collection of scientific works published since 1998
Issued 2 times a year

Kryvyi Rih
DonNUET
2020

Editorial board:

Editor in chief — V. P. Khorolskyi

Deputy editor in chief — R. P. Nykyforov

Executive editor of series — T. O. Ruzhynska

Executive secretary of series — A. V. Slashcheva

Editorial board of series:

Deynichenko G. V., Grand PhD in Engineering sciences (Kharkiv State University of Food Technology and Trade); *Gnitsevykh V. A.*, Grand PhD in Engineering sciences (Kyiv National University of Trade and Economics); *Grinchenko O. O.*, Grand PhD in Engineering sciences (Kharkiv State University of Food Technology and Trade); *Khomych H. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Poltava University of Economics and Trade); *Khorolskyi V. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Mykhailov V. M.*, Grand PhD in Engineering sciences (Kharkiv State University of Food Technology and Trade); *Nykyforov R. P.*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Omelchenko O. V.*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Pogrebnyak V. G.*, Grand PhD in Engineering sciences (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas); *Popova S. Yu.*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Priss O. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Tavria State Agrotechnological University); *Pyvovarov P. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Kharkiv State University of Food Technology and Trade); *Slashcheva A. V.*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Vinnikova L. G.*, Grand PhD in Engineering sciences (Odessa National Academy of Food Technologies); *Yudina T. I.*, Grand PhD in engineering sciences (Kyiv National University of Trade and Economics); *Vozniak Yurii*, PhD in Physico-mathematical sciences (Center for Molecular and Macromolecular Studies, Polish Academy of Sciences), *Khamisabadi Javad*, PhD in industrial management (Faculty of Engineering & Management, Islamic Azad university, Tehran, Iran).

Journal was registered at Ministry of Justice of Ukraine. Registration number KB № 13181-2065ПП dated July 25, 2007.

Founder and editor Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih.
Certificate of Publisher ДК № 4929 dated July 7, 2015.

Passed for printing under recommendation of Academic Council of Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (transaction No. 19 dated 24.06.2020).

Language of edition: Ukrainian, Russian, English.

Reprinting and translations are allowed only from the consent of author and editorial board.

Address of editor and editorial office:

13, Kurchatova str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50042 and editorial office:
phone (0564) 409-77-97, e-mail: obladnannya@donnuet.edu.ua, www.donnuet.edu.ua

© Donetsk National University of Economics and Trade
named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, 2020

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -40-1-5-11
УДК 664.29.002.5

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, професор¹
Гузенко В. В., канд. техн. наук¹
Омельченко О. В., канд. техн. наук²
Гейер Г. В., д-р екон. наук, професор²
Кузьменко А. О., магістрант²

¹ Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків, Україна, e-mail: oborud.hduht@gmail.com

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

АНАЛІЗ СИРОВИНИ ТА РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПЕКТИНОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ

UDK 664.29.002.5

Deynichenko G. V., Grand PhD in Engineering sciences, Professor¹
Guzenko V. V., PhD in Engineering sciences¹
Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences²
Heiier H. V., Grand PhD in Economy sciences, Professor²
Kuzmenko A. O., Master's Degree²

¹ Kharkiv State University of Food Technology and Trade (Kharkov, Ukraine), e-mail: oborud.hduht@gmail.com

² Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryvyi Rih, Ukraine), e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

ANALYSIS OF RAW MATERIALS AND RATIONAL TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF PECTIN CONCENTRATES

Мета — визначити напрямів подальших досліджень одержання пектинового концентрату з аналізу сучасних технологій виробництва та різновиду пектинвмісної сировини.

Методи. Запропоновано зразкову принципову схему виробництва пектинового концентрату з урахуванням сучасних вимог переробної промисловості та з дотриманням екологічності виробничих процесів.

Результати. Аналітичні дослідження показали, що зменшити дефіцит харчових волокон, зокрема, пектинових речовин, у харчуванні населення дозволяє введення їх у різноманітні харчові продукти. Проте сьогодні промислове виробництво пектинопродуктів розвинено недостатньо, що пов'язано з недосконалістю технологічних ліній. Визначено закономірності вибору сировини для подальшого проведення досліджень з одержання пектинових концентратів. Запропоновано ґрунтовний аналіз існуючих схем виробництва пектину та обґрунтовано вибір раціональної технології з урахуванням ресурсозбереження та енергоефективності. Надано опис одержаної схеми промислового виробництва пектинового концентрату із зазначенням параметрів процесів та відходів. Проаналізовані екологічні чинники, що визначають перспективність запропонованої схеми до промислового використання для виробництва якісного екологічно чистого пектинового концентрату.

Надійшла до редакції 12.03.2019 р.

©Г. В. Дейниченко, В. В. Гузенко, О. В. Омельченко, Г. В. Гейер, А. О. Кузьменко, 2020

Отримані результати можуть бути використані в подальшому під час формування теоретичних та експериментальних досліджень процесів екстрагування пектинових речовин, концентрування й очищення пектинових екстрактів та сушіння готового продукту загальної технології одержання пектинових концентратів. Наведена інформація може бути використана під час проектування технологічних та технічних рішень із подальшим упровадженням розробленої технологічної лінії на підприємствах переробки сільськогосподарської рослинної сировини.

Ключові слова: пектин, концентрат, технологія, сировина, виробництво.

Постановка проблеми. Харчування людини належить до найважливіших питань, які визначають якість і тривалість життя сучасної людини, що ускладнена несприятливою екологічною ситуацією, соціальними проблемами, стресами, уповільненим способом життя, шкідливими звичками тощо. Усе це врешті призводить до зменшення опору організму впливу навколишнього середовища й зростання кількості хронічних захворювань [1].

Головна причина цих чинників — недостатній вміст у раціоні, пересічної людини головних джерел харчових волокон, що є у фруктах, овочах, злаках та інших природних продуктах харчування. Один зі способів, що дає змогу зменшити дефіцит харчових волокон у харчуванні населення — введення волокон (зокрема, баластових речовин) у різноманітні харчові продукти, підвищення їхньої споживчої привабливості завдяки високим органолептичним властивостям, новизні й очевидній користі для здоров'я [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки потреба в пектинопродуктах нашої країни значно перевищує обсяги його виробництва й закупівель за кордоном [3].

Виробництво пектинопродуктів на даний момент розвинено не в багатьох країнах [4], але основним недоліком для них є недостатня продуктивність виробничих ліній. Це пояснюється тим, що нині таке виробництво є насамперед бізнесом, який динамічно розвивається зі щорічним збільшенням виробництва на 3–4 %. Технології отримання різноманітних пектинопродуктів (пектинові екстракти, концентрати тощо) є закритими, та спеціально розробляються на самих виробництвах цієї продукції [5].

Дослідженню з одержання пектинових речовин та подальшій їх обробці присвячено багато наукових робіт, серед яких є такі, що заслуговують на особливу увагу. Адже ці розробки, доповнення, винаходи з виробництва й застосування пектинових екстрактів та концентратів є найважливішою інформацією й поштовхом для впровадження цієї інформації у виробничих умовах [6, 7].

Проблема дефіциту пектинопродуктів існує не тільки в Україні, але й в розвинених країнах Європи. Це пов'язано, насамперед, як вже зазначалося вище, із щоденним погіршенням екологічних умов. Тому вирішення основних питань для одержання пектинових концентратів з подальшим їх використанням в лікувальних і профілактичних цілях є найважливішим напрямом у розвитку охорони здоров'я будь-якої країни [8].

Мета статті — визначення напрямів подальших досліджень одержання пектинового концентрату з аналізу сучасних технологій виробництва та різновиду пектинвмісної сировини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити закономірності вибору сировини для подальшого проведення досліджень з одержання пектинових концентратів;
- проаналізувати схеми існуючих виробництв пектину з урахуванням ресурсозбереження та енергоефективності;
- надати опис одержаної схеми промислового виробництва пектинового концентрату із зазначенням параметрів процесів, що будуть досліджуватися.

Виклад основного матеріалу дослідження. До основних питань сьогодення у вирішенні проблеми виробництва пектинового концентрату можна віднести чіткий вибір сировинної бази та використання її в різних модифікаціях залежно від сезону [9].

Як відомо, у вітчизняній переробній промисловості для виробництва пектину використовувався буряковий, соняшниковий, яблучний і цитрусовий жом. В інших країнах світу пектинове виробництво розвивається за рахунок використання (як вихідної сировини) яблучної макухи, різноманітних цитрусових, кошиків соняшника, бавовняної стулки, кормової сировини, виноградних вичавок, кори хвойних порід дерев, вичавок айви, овочів, інших фруктів і ягід, картопляної мезги тощо [10].

Класифікацію пектинвмісної сировини за вмістом пектинових речовин на суху масу наведено в табл. 1. Як видно з таблиці, найбільш пектинвмісною сировиною є кошики соняшника та коренеплоди (зокрема цукрові буряки).

Проте дані, подані в табл. 1, дають підставу зробити висновок, що сьогодні подальші дослідження дадуть найкращі результати, якщо вибрати для одержання пектинових концентратів в Україні такі види сировини: коренеплоди, гарбузові, зерняткові (яблука, айва, горобина, обліпіха), виноград та соняшник [11, 12]. Це пов'язано передусім з високими показниками вмісту пектину в цих видах рослинної сировини, ступенем етерифікації (показник застосування пектину в харчовій промисловості), а також досить значною кількістю вторинної сировини в процесі виготовлення основної продукції на переробних підприємствах з цих видів сировини [13]. Проте сьогодні основна перевага може бути надана яблучним вичавкам, гарбузовим та соняшнику.

Розглядаючи різні способи виробництва пектинових концентратів, можна зробити висновок про те, що вони мають певні недоліки, усунення яких є принципом зміни чинників виробництва.

Сьогодні процеси технології одержання пектину можуть бути подані у вигляді двох схем:

Таблиця 1 — Характеристика пектинових речовин за видом сировини (складено автором на основі [6, 7])

Вид пектинвмісної сировини		Вміст пектину, %	Ступінь етерифікації, %
Підгрупа	Сировина		
1-а група «Овочі»			
Бульбоплоди, коренеплоди	Картопля, буряк, морква	5,4...2,0 30,0...6,4	71,9...28,0
Листові, стеблові	Капуста, цибуля, селера	7,5...4,8 10,1...9,2	65,0
Плодові	Баклажани, перець, томати	11,0...9,2	63,2
Гарбузові	Гарбузи, дині, кавуни	23,6...1,7	60,0...40,0
Бобові, зернові	Зелений горошок, кукурудза, пшениця, ячмінь, овес, рис	2,5...1,5 3,0...4,0	40,0
2-га група «Плоди та ягоди»			
Зерняткові	Яблука, груші, айва, горобина	9,0...1,9	80,0...65,0
Кісточкові	Вишня, черешня, слива, абрикос		
Справжні, несправжні, складні	Виноград, смородина, суниця, полуниця, малина, брусниця, чорниця, журавлина	12,0...4,2 7,9...3,3 6,7...3,2	37,8...33,0
Субтропічні ци- трусіві	Інжир, фейхоа, хурма, ківі, грей- пфрути	14,0...4,9	75,0...70,0
Тропічні цитрусові	Гранат, банани, лимони, апельси- ни, мандарини	15,8...5,5	
3-тя група «Інші види»			
Листя	Чай, тютюн	14,0...4,9	65,1...40,0
Стебла соняшнику		35,7...20,0	
Кошики соняшнику		24,0...12,0	
Стулки коробочок бавовника		15,4...10,0	
Кора дерев	Сосна, ялина, модрина	9,0...8,0	61,1...37,5

1. Підготовлення вихідної сировини → первинне добування (вилучення) пектинових речовин → очищення → концентрування екстракту → осадження пектину → подрібнювання → промивання очищеного пектину → поділ на фракції → забуферуння → повторне подрібнення пектинового порошку → сушіння → порошок пектинового концентрату → до споживача [12].

2. Підготовлення вихідної сировини → хімічне добування (вилучення) пектинових речовин → розподіл на фракції → мембранне концентрування (ультрафільтрація) пектинового екстракту → очищення (діафільтрація) пектинового концентрату → сушіння або консервація рідкого концентрату → подальше використання [13].

В умовах ресурсо- та енергозбереження друга схема одержання пектинового концентрату є більш переважною, тому що вона менш енергоємна й більш продуктивна на відміну від першої. Крім того, зазначена схема скорочує тривалість одержання пектинового концентрату (від підготовки вихідної сировини до готового продукту), а також має мінімальну кількість залученого до окремих стадій виробництва обладнання з високою продуктивністю. Саме у цьому напрямку відбуваються наші подальші дослідження [14, 15].

Нами було проаналізовано застосування обраної схеми стадій одержання пектинового концентрату у виробничих умовах, результати надано на рис. 1.

Дана схема одержання пектинового концентрату має послідовне чергування процесів обробки пектинвмісної сировини з необхідними технологічними параметрами (тривалість обробки τ , швидкість проходження процесу v , гідромодуль Π , рН розчину, температура t , тиск P) та зазначенням вхідних та вихідних продуктів обробки.

У розробленій схемі виробничий процес дозволяє одержати пектинові концентрати з високими якісними показниками. Для цього необхідно проаналізувати екологічні чинники, що повинні враховуватися в подальших дослідженнях процесів загальної технології пектинового концентрату.

Підприємство з виробництва пектину купує пектинвмісну сировину, кислоту, нейтралізуючий реагент. Вихідна сировина ретельно контролюється. Підприємство буде купувати вихідну сировину у передових переробних та хімічних підприємствах району чи

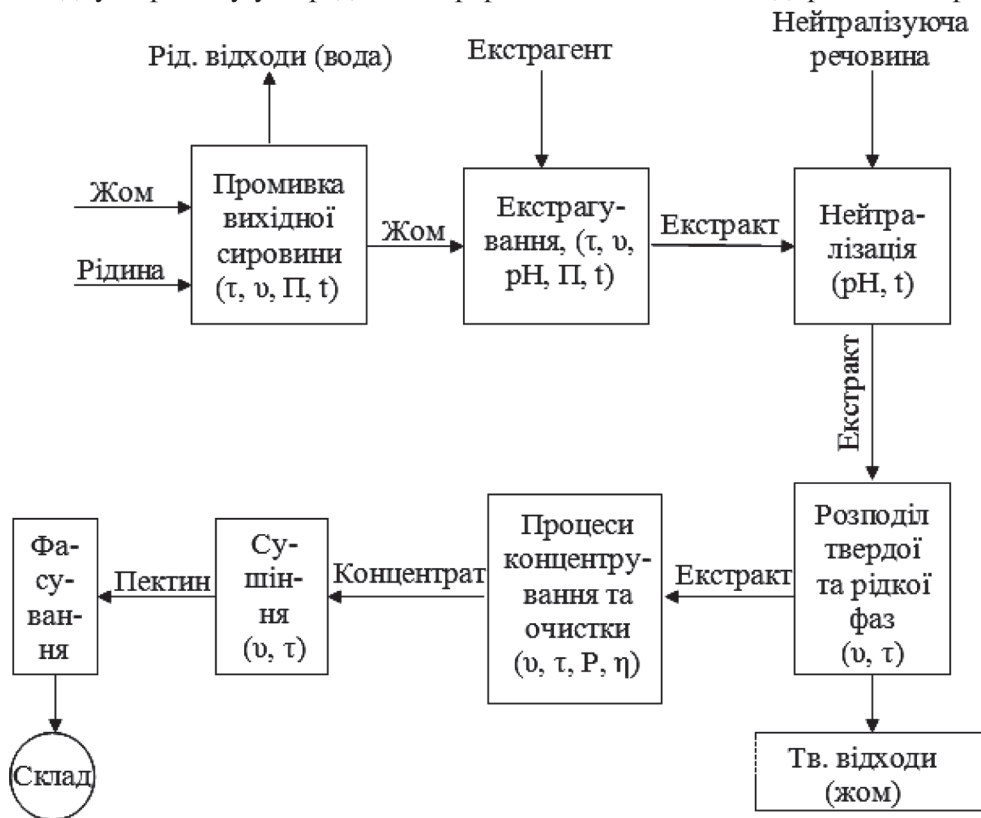


Рисунок 1 — Принципова схема одержання пектинового концентрату у виробничих умовах (складено автором на основі [7, 16])

області. У рослинній сировині контролюється наявність важких металів та інших домішок у лабораторії вхідного контролю.

Протягом технологічного процесу сировина та напівфабрикати не забруднюються. Все обладнання повинно бути виготовлене з нержавіючої сталі, скла та пластику.

Матеріали, з яких виготовлене технологічне обладнання, мають дозвіл санітарних органів на використання у харчовій промисловості. Крім дозволу, на все обладнання є паспорт, сертифікати, технічні умови та інші необхідні документи.

Технологічна лінія з виробництва пектину сертифікована, а заводська лабораторія атестована на проведення аналізів вхідного контролю.

Оскільки сировина екологічно чиста, не забруднюється під час технологічної обробки, а технологічний процес виробництва пектину дозволяє відрегулювати коливання складу вихідної сировини, отримуємо екологічно чисту продукцію.

Створення умов безперервності процесу одержання пектинового концентрату досягається під час проектування лінії, технологічні етапи якої будуть виключати затримки між початковими процесами обробки сировини та процесами обробки пектинвмісної суміші [9].

Висновки. Отже, загальний процес виробництва пектинового концентрату має низку питань, що можуть бути вирішені шляхом теоретичних та експериментальних досліджень. Тому на початку визначено закономірності вибору сировини та обрано раціональну технологію з урахуванням ресурсозбереження та енергоефективності. Надано опис одержаної схеми промислового виробництва пектинового концентрату із зазначенням параметрів процесів та відходів, що можуть бути використані надалі.

Список літератури

1. Ипатова Л. Г., Кочеткова А. А., Нечаев А. П., Тарасова В. В., Филатова А. А. Пищевые волокна в продуктах питания. *Пищевая промышленность*. 2007. № 5. С. 8–10.
2. Берегова І. Пектини й карагінани. *Харчова і переробна промисловість*. 2006. № 1. С. 26–27.
3. Воинова С. М., Крапивницкая И. О. Новая песня о старом, или снова о производстве пектина в Украине. *Пищевая промышленность*. 2006. № 6. С. 38–39.
4. Pertsevov, F., Savgira, Yu, Foshchan, A. (2005). *Modifying additives in jelly products*. Wroclaw ; Kiev, NUFT Publ., 259 p .
5. Хрундин Д. В., Романова Н. К., Решетник О. А. Пектин: основные и потенциальные возможности применения в пищевой промышленности. *Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий*. 2008. № 2. С. 32–35.
6. Донченко Л. В., Фирсов Г. В. Пектин: основные свойства, производство и применением : [монография]. М. : ДеЛи, 2007. 276 с.
7. Гузенко В. В. Удосконалення процесу виробництва пектинового концентрату та його апаратурне оформлення : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 . Харків, 2013. 156 с.
8. Гулий І. С., Купчик М. П., Богданов Є. С. та ін. Виробництво та використання пектину у харчовій промисловості (фруктові препарати, консерви, мармелади, джеми, желе, йогурти, пасти, соуси, кетчупи, компоти, десерти, напої). Х. : Шуста А. І., 2001. 120 с.
9. Дейниченко Г. В., Мазняк З. О., Гузенко В. В. Проблеми впровадження технологій з виробництва пектину. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. праць, 2008. Вип. 1 (7). С. 317–322.
10. Домарецький В. А., Остапчук М. В., Українець А. І. Технологія харчових продуктів. К. : НУХТ, 2003. 572 с.
11. Румянова Г. Н., Маркина О. А., Птичкина Н. М. Экстракция пектина из тыквенного жома с помощью отечественных ферментных препаратов. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2002. № 6. С. 33–35.
12. Лукин А. Л., Котов В. В. Свекловичный пектин: от поля до конечного продукта : [монография]. Воронеж : Истоки, 2005. 176 с.

13. Тамова М. Ю., Барашкина Е. В., Журавлев Р. А., Третьякова Н. Р. и др. Инновационные способы получения пектина из различных видов растительного сырья. *Новые технологии*. 2018. № 4 С. 25–27.
14. Phillips, G., Williams, P. (2009). Handbook of hydrocolloids. New York, Woodhead Publishing Limited, 1003 p.
15. Ильина И. А. Теоретические и экспериментальное обоснование технологии модифицированных пектинов : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.18.01. Краснодар, 2001. 287 с.
16. Дейниченко Г. В., Мазняк З. О., Гузенко В. В. Підбір та розробка нового обладнання для виробництва пектинових концентратів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка «Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв»*. 2014. Вип. 20. С. 144–149.
17. Грабишин А. С. О некоторых особенностях технологий производства пектина. *Новые технологии*. 2010. № 2. С. 30–34.

References

1. Ipatova, L., Kochetkova, A., Nechaev, A., Tarasova, V., Filatova, A. (2007). *Pishhevye volokna v produktah pitaniya* [Dietary fiber in food]. *Pishhevaja promyshlennost'* [Food industry], no. 5, pp. 8–10.
2. Beregova, I. (2006). *Pektyny u karahinany* [Pectins and carrageenans]. *Kharchova i pererobna promyslovishtva* [Food and processing industry], no. 1, pp. 26–27.
3. Voinova, S., Krapivnickaja, I. (2006). *Novaja pesnja o starom, ili snova o proizvodstve pektina v Ukraine* [A new song about the old, or again about the production of pectin in Ukraine]. *Pishhevaja promyshlennost'* [Food industry], no. 6, pp. 38–39.
4. Pertseyov, F., Savgira, Yu, Foshchan, A. (2005). Modifying additives in jelly products. Wroclaw ; Kiev, NUFT Publ., 259 p .
5. Hrundin, D., Romanova, N., Reshetnik, O. (2008). *Pektin: osnovnye i potencial'nye vozmozhnosti primeneniya v pishhevoj promyshlennosti* [Pectin: main and potential applications in the food industry]. *Izvestija Sankt-Peterburzskogo gosudarstvennogo universiteta nizkotemperaturnyh i pishhevyyh tehnologij* [Bulletin of St. Petersburg State University of Low-Temperature and Food Technologies], no. 2, pp. 32–35.
6. Donchenko, L., Firsov, G. (2007). *Pektin: osnovnye svoystva, proizvodstvo i primeneniye* [Pectin: main properties, production and applications]. Moscow, Delhi, 276 p.
7. Guzenko, V. (2003). *Udoskonalennyya processu vyrobnyctva pektynovogo koncentratu ta jogo aparaturne oformlennyya* [Improvement of the process of production of pectin concentrate and its hardware design. PhD dissertation in Engineering sciences]. Kharkiv, 156 p.
8. Hulyi, I., Kupchyk, M., Bogdanov, Ye. et. all. *Vyrobnytstvo ta vykorystannia pektynu u kharchovii promyslovosti (fruktovi preparaty, konservy, marmelady, dzhemy, zhele, yohurty, pasty, sousy, ketchupy, kompoty, deserty, napoi)* [Production and use of pectin in the food industry (fruit preparations, canned food, marmalades, jams, jellies, yogurts, pastes, sauces, ketchups, compotes, desserts, drinks)]. Kharkiv, Shusta A. I. Publ., 120 p.
9. Deynychenko, G. V., Maznyak, Z. O., Guzenko, V. (2008). *Problemy vprovadzheniya texnologij z vyrobnyctva pektynu* [Problems of introduction of pectin production technologies]. *Progresyvni tekhnika ta texnologiyi xarchovykh vyrobnyctv restorannogo gospodarstva i torgivli* [Progressive techniques and technologies of food production of restaurant economy and trade], no. 1 (7), pp. 317–322.
10. Domaretskyi, V., Ostapchuk, M., Ukrainets, A. (2003). *Tehnologiya xarchovykh produktiv* [Food technology]. Kiev, NUFT Publ., 572 p.
11. Rumyanova, G., Markina, O., Ptichkina, N. (2002). *Jekstrakcija pektina iz tykvennoho zhoma s pomoshh'ju otechestvennykh fermentnykh preparatov* [Extraction of pectin from pumpkin pulp using domestic enzyme preparations]. *Hranenie i pererobotka sel'hozsyr'ja* [Storage and processing of agricultural raw materials], no. 6, pp. 33–35.

12. Lukin, A., Kotov, V. (2005). *Sveklovichnyj pektin: ot polja do konechnogo produkta* [Beet Pectin: from the field to the final product]. Voronezh, Istoki Publ., 176 p.
13. Tamova M. Yu., Barashkina E. V., Zhuravlev R. A., Tretyakova N. R. et al. (2018). *Innovacionnye sposoby poluchenija pektina iz razlichnyh vidov rastitel'nogo syr'ja* [Innovative methods for producing pectin from various types of plant materials]. *Novye tehnologii* [New technologies], no. 4, pp. 25–27.
14. Phillips, G., Williams, P. (2009). *Handbook of hydrocolloids*. New York, Woodhead Publishing Limited. 1003 p.
15. Ilyina, I. (2001). *Teoreticheskie i jeksperimental'noe obosnovanie tehnologii modificirovannyh pektinov* [Theoretical and experimental substantiation of the technology of modified pectins. Grand PhD dissertation in Engineering sciences]. Krasnodar, 287 p.
16. Deynychenko, G. V., Maznyak, Z. O., Guzenko, V. (2014). *Pidbir ta rozrobka novogo obladnannja dlja virobnictva pektinovyh koncentrativ* [Selection and development of new equipment for the production of pectin concentrates]. *Visnik Harkivskogo nacional'nogo tehnicznego universitetu silskogo gospodarstva im. Petra Vasilenka «Suchasni naprjamki tehnologii ta mehanizacii procesiv pererobnih i harchovyh virobnictv»* [Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture Petro Vasylenko «Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production»], uss. 20. pp. 144–149.
17. Grabishin, A. (2010). *O nekotoryh osobennostjakh tehnologij proizvodstva pektina* [About some features of pectin production technologies]. *Novye tehnologii* [New technologies], no. 2, pp. 30–34.

Objective. *Determination of areas for further research on the production of pectin concentrate by analysis of modern production technologies and varieties of pectin.*

Methods. *An exemplary schematic diagram of the production of pectin concentrate is proposed taking into account modern requirements of the processing industry and in compliance with the environmental friendliness of production processes.*

Results. *Analytical studies have shown that the introduction of them (in particular pectin product) into various food products makes it possible to reduce the deficiency of dietary fiber in the nutrition of the population. However, today the industrial production of pectin products is not sufficiently developed, which is associated with the imperfection of technological lines. The patterns of the choice of raw materials for further research on the production of pectin concentrates are determined. A detailed analysis of the existing pectin production schemes is presented and the rational choice of technology is justified taking into account resource conservation and energy efficiency. The description of the obtained scheme for the industrial production of pectin concentrate with the indication of process parameters and waste is presented. The environmental factors that determine the prospects of implementing the proposed scheme in industry for the production of high-quality environmentally friendly pectin concentrate are analyzed.*

The results can be used later in the formation of theoretical and experimental studies of the processes of extraction of pectin substances, concentration and purification of pectin extracts and drying of the finished product of the general technology for producing pectin concentrates. The above information can be used in the design of technological and technical solutions with the subsequent implementation of the developed technological line at agricultural processing plants.

Keywords: *pectin, concentrate, technology, raw materials, production.*

Попова С. Ю., канд. техн. наук, доцент¹

Слащева А. В., канд. техн. наук, доцент¹

Пусікова О. А., асистент¹

Боднарук О. А., асистент¹

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

НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА ПРИШВИДШЕНИМ СПОСОБОМ

UDC 664.66:633/635

Popova S. Yu., PhD in Engineering sciences, Associate Professor¹

Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences¹

Pusikova O. A., Assistant Professor¹

Bodnaruk O. A., Assistant Professor¹

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

USAGE AREAS OF SECONDARY RAW MATERIALS IN TECHNOLOGY PRODUCTION OF YEAST DOUGH IN TERMS OF ACCELERATED METHOD

Мета — дослідити вплив рослинної добавки — сухої картопляної добавки на властивості дріжджового тіста.

Методи. Під час проведення досліджень використано стандартні методики визначення динаміки розмноження дріжджових клітин, швидкість газоутворення, зімазної та мальтозної активності, структурно-механічних властивостей тіста.

Результати. Запропоновано використовувати в технології дріжджового напівфабрикату суху картопляну добавку (СКД). Проведені експериментальні дослідження дозволили розробити пришвидшений спосіб приготування дріжджового тіста, який передбачає додавання добавки у дріжджову суспензію. Відповідно до мети було обґрунтовано розробку пришвидшеної технології виробництва дріжджового напівфабрикату з відокремленням систем та підсистем, а також визначено оптимальне дозування СКД та раціональні параметри попередньої активації дріжджів (ПАД); досліджено вплив СКД на основні компоненти тіста; визначено структурно-механічні властивості дріжджового напівфабрикату за наявності СКД. Досліджено вплив СКД на біотехнологічні властивості хлібопекарних дріжджів. Встановлено, що використання СКД у середовищі попередньої активації дозволяє збільшити питому швидкість росту дріжджів на 0,3 %, на відміну від модельної системи із цукром. Встановлено вплив СКД на показники ферментативної активності дріжджів. Визначено, що концентрація СКД 5 % до маси борошна сприяє покращенню показників зімазної активності на 30 %, а мальтазної — на 22 %, що сприяє пришвидшенню часу першого підняття тіста та вресі дозволяє скоротити час технологічного процесу розстоювання тіста на 30–35 %. Визначено здатність СКД впливати на стан білків, що, своєю чергою, покращує структурно-механічні та реологічні властивості тіста. За умови підвищення кількості СКД до 5 % до маси борошна спостерігається пропорційне зростання пружності до 7 %, показник розрідження тіста зменшується на 10 %, а показники еластичності та стабільності зростають на 8 % та 1,5 % відповідно.

Ключові слова: дріжджовий напівфабрикат, суха картопляна добавка (СКД), зімазна та мальтазна активність, газоутворення.

Постановка проблеми. Аналіз сучасного ринку продовольчих товарів України свідчить про те, що з кожним роком спостерігається зростання попиту населення на споживання хлібобулочних та борошняних кулінарних виробів. Слід зазначити, що процес тістоутворення є досить тривалим, отже призводить до значної витрати часу, тому створення пришвидшених технологій дають змогу значно скоротити час приготування борошняних кулінарних виробів [1]. Також проблема створення маловідходних або безвідходних технологій дуже гостро стоїть у концепції ресурсозберігаючих технологій України.

Аналіз хімічного складу картоплі та вторинних продуктів її переробки свідчить, що до її складу входить комплекс речовин, які дозволяють нівелювати параметрами технологічного процесу, а також кількісним та якісним складом основної сировини. Аналіз хімічного складу картоплі свідчить про вміст цукрів, амінокислот, вітамінів, органічних кислот та широкого спектра мінеральних речовин. Тому, за умов надання визначених функціонально-технологічних властивостей картоплі та продуктам її переробки, можливо керувати процесами, що відбуваються під час дозрівання дріжджових напівфабрикатів, контролювати та форсувати хід технологічного процесу одержання борошняних кулінарних виробів та забезпечити формування високої якості готових виробів.

Саме тому актуальним є питання розроблення принципово нових пришвидшених технологій виробництва борошняних кулінарних виробів з використанням натуральної рослинної сировини замість поліпшувачів, розпушувачів тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток цього наукового напрямку пояснюється тим, що пришвидшена технологія дозволяє налагодити випікання продукції широкого асортименту навіть на підприємствах невеликої потужності, що є доволі актуальним, адже сучасне виробництво передбачає наявність невеликих пекарень, булочно-кондитерських магазинів, супермаркетів [2]. Ця технологія дозволяє оперативно реагувати на вимоги ринку щодо задоволення населення свіжими виробами та створювати нові пекарні зі скороченим технологічним циклом.

Дослідженням у галузі покращення якості хлібобулочних виробів присвячені роботи Н. П. Козьміної, Н. М. Семіхатової, Л. І. Пучкової, В. І. Дробот, В. М. Ковбаси, М. І. Персичного, С. Г. Козлової, Л. Я. Ауерман, Л. П. Пашенко та ін. [3, 4].

Тому подальший розвиток наукових досліджень, спрямованих на удосконалення технології виробництва борошняних кулінарних виробів з метою поліпшення якості продукції та вирішення сучасних проблем пекарної промисловості, є актуальним.

Мета статті — є наукове обґрунтування та розроблення пришвидшеної технології виробництва дріжджового напівфабрикату з використанням вторинних продуктів рослинного походження.

Відповідно до мети були визначені такі завдання: визначити оптимальне дозування СКД та раціональні параметри попередньої активації дріжджів (ПАД); дослідити вплив СКД на основні компоненти тіста.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час зберігання пресованих дріжджів відбуваються зміни їхнього хімічного складу і, як наслідок, знижуються показники якості дріжджів, а саме, їхня бродильна та ферментативна активність у дріжджових напівфабрикатах. Тому використання дріжджів потребує їхньої попередньої обробки з метою відновлення та покращення вихідної активності та переходу з дихального на бродильний тип метаболізму. Технологічний ефект цієї операції залежить від складу поживного середовища та швидкості адаптації дріжджових клітин до спеціально створених умов [5].

Відомо, що для швидкої адаптації дріжджових клітин до борошняного напівфабрикату доречно використовувати рідкі поживні середовища, які містять у своїй сполуці вуглеводи, воду, азот, біогенні та олігобіогенні речовини, вітаміни тощо [6]. Ефект такого способу полягає в підвищенні енергії бродіння за рахунок перебудови енергетичного обміну з дихального на бродильний і залежить від вмісту поживних речовин у середовищі активації [7], а також від їхньої доступності для споживання дріжджовою клітиною [8].

Метою цих досліджень було визначення раціональних параметрів активації дріжджів за наявності СКД та їхня оптимізація.

Збільшення колонії дріжджових клітин визначали за приростом загальної кількості клітин за температури 30...35 °С прямим розрахунком у камері Горяєва. Дослідження проводили на трьох модельних системах: «дріжджі: вода», «дріжджі: вода: цукор» та «дріжджі: вода: добавка» (СКД). Концентрація цукру та СКД у розчині дріжджів з водою становила 1:5. Аналіз отриманих результатів (рис. 1) показує, що введення СКД у середовище активації дозволяє значно скоротити лаг-фазу, тобто адаптація дріжджових клітин за наявності добавки відбувається інтенсивніше ніж у зразку дріжджового середовища із цукром. Після проведення підрахунку кількості дріжджових клітин у зразку дріжджів з водою і зразків модельних систем «дріжджі: вода: цукор» та «дріжджі: вода: добавка», встановлено, що приблизна кількість дріжджових клітин у зразку з добавкою становить 2,2 КУО, у зразку модельної системи з цукром — 1,9 КУО, у той час як у системі «дріжджі: вода» — 1,1 КУО.

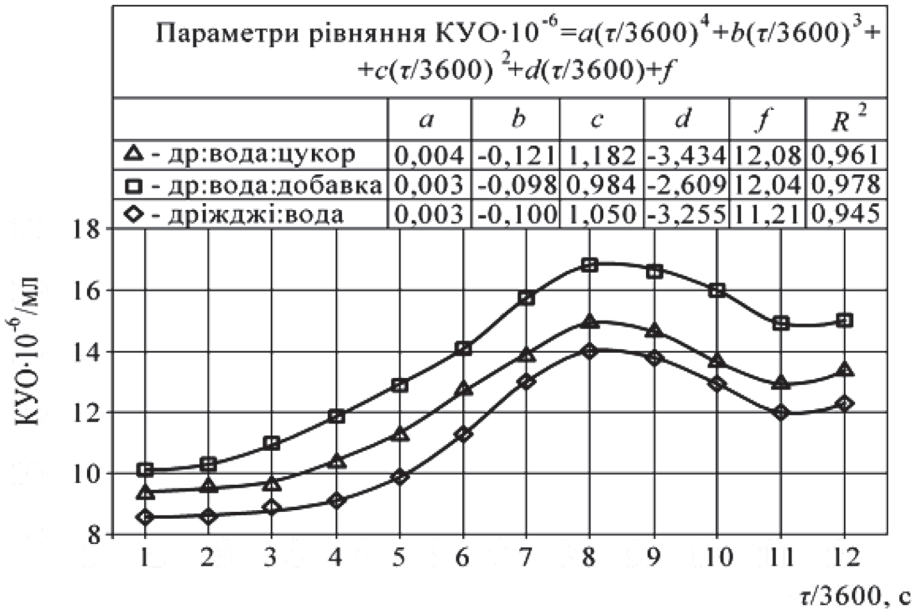


Рисунок 1 — Динаміка розмноження дріжджових клітин залежно від виду поживного середовища

Як було встановлено раніше, дріжджі використовують для розпушування тіста за рахунок зброджування цукрів — глюкози, фруктози, мальтози та ін. [9]. Здатність дріжджів зброджувати глюкозу і фруктозу визначають за показником підйимальної сили та зимазної активності, а мальтозу — за показником мальтазної активності. Відомо, що здатність дріжджів зброджувати глюкозу та мальтозу досить різна. Зимазну та мальтазну активність дріжджів зазвичай виражають часом у хвилинах, який витрачено для виділення 10 см³ діоксиду вуглецю за зброджування 5 %-го розчину відповідного цукру, кількість дріжджів становить 2,5 % від маси середовища.

Спираючись на отримані вище результати щодо покращення показників підйимальної сили та осмочутливості активованих дріжджів, можна передбачити також і покращення показників зимазної активності. Але, поряд з глюкозою, у дріжджовому тісті також є і мальтоза, яка, як відомо, безпосередньо дріжджами не засвоюється, а перетворюється в глюкозу за допомогою ферменту бродіння — мальтази (α-глюкозидази).

Інтенсивність енергетичного обміну активованих дріжджів оцінювали за швидкістю зброджування водневих розчинів глюкози та мальтози, що показано на рис. 2.

Концентрацію СКД варіювали у відсотках до маси борошна, а як контрольний зразок використовували дріжджі з цукром.

Аналіз отриманих даних свідчить про покращення показників ферментативної активності досліджуваних зразків порівняно з контролем. Так, зимазна активність досліджуваних зразків з концентрацією СКД 1, 3 та 5 % покращується на 17, 27 та 30 % відповідно порівняно з контрольним зразком. Слід зазначити, що підвищення концентрації СКД до 7 % також покращує зимазну активність дріжджів, але наближає його до контрольного.

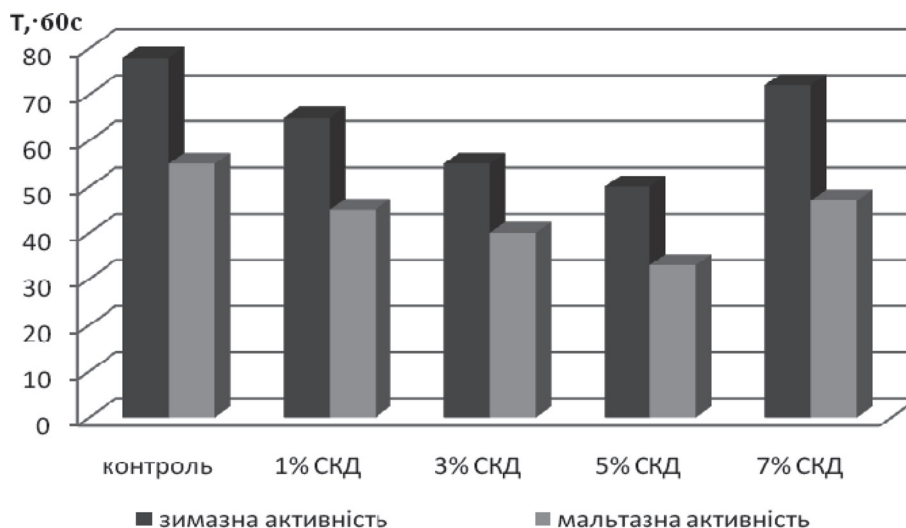


Рисунок 2 — Динаміка залежності зимазної та мальтазної активності від концентрації СКД

Доведено позитивний вплив СКД у концентрації 5 % до маси борошна на технологічні властивості пресованих дріжджів (рис. 2), що відбувається за рахунок активації ферментної системи дріжджів. Наявність у середовищі активації СКД позитивно впливає на активізацію дріжджами ферментної системи і забезпечує більш повне протікання мікробіологічних та біохімічних процесів у тісті. Цей аспект дозволяє прогнозувати скорочення часу технологічного процесу розстоювання тіста, а також підтверджує посилення щодо вилучення з рецептурного складу цукру. При цьому концентрація СКД 7 % до маси борошна негативно впливає на технологічні властивості дріжджів.

Розпушування тіста під час бродіння значною мірою забезпечує спиртове бродіння. Газоутворювальна здатність борошна характеризує кількість вуглекислого газу, що виділився під час бродіння тіста, та за його кількістю визначають інтенсивність спиртового бродіння, яке передбачає безпосередньо інтенсивність бродіння тіста. Отже, таким чином можна передбачити тривалість розстоювання тіста.

Значний вплив на газоутворювальну здатність тіста має так зване «харчування» дріжджів, а саме, наявність у середовищі цукру, мінеральних сполук, азотистих сполук тощо.

Дослідження впливу СКД на інтенсивність газоутворення визначали за стандартною методикою. Додавку вносили в тісто у кількості 1; 3; 5 та 7 % до маси борошна, як контрольний зразок використовували традиційну рецептуру безопарного дріжджового тіста.

Експериментальний аспект контрольного та дослідних зразків наведено на рис. 3–4. Із рисунків видно, що додавання СКД у кількості 1; 3 та 5 % до маси борошна сприяє інтенсифікації виділення діоксиду вуглецю впродовж перших двох годин бродіння досліджуваних зразків борошна порівняно з контрольними зразками на 10; 16 та 17 % більше на відміну від контрольного зразка.

Слід зазначити, що інтенсивність газоутворення у зразках тіста з концентрацією СКД 7 % до маси борошна дещо схожа з контрольним зразком. Це явище можна пояснити тим, що в досліджуваній системі з високим вмістом легкозброджуваних цукрів відбувається зниження активності бродильної мікрофлори тіста та гальмування процесу спиртового бродіння.

Отже, зразки тіста з додаванням СКД у кількості 1; 3 та 5 % сприяють підвищенню інтенсивності газоутворення в тісті. Це явище можна пояснити підвищенням рН тіста до його оптимального значення за рахунок введення СКД та створення оптимальних умов для дії β-амілази, що каталізує процес гідролізу крохмалю. Також активізується дія зимазного комплексу дріжджів, що врешті приводить до інтенсифікації процесу бродіння.

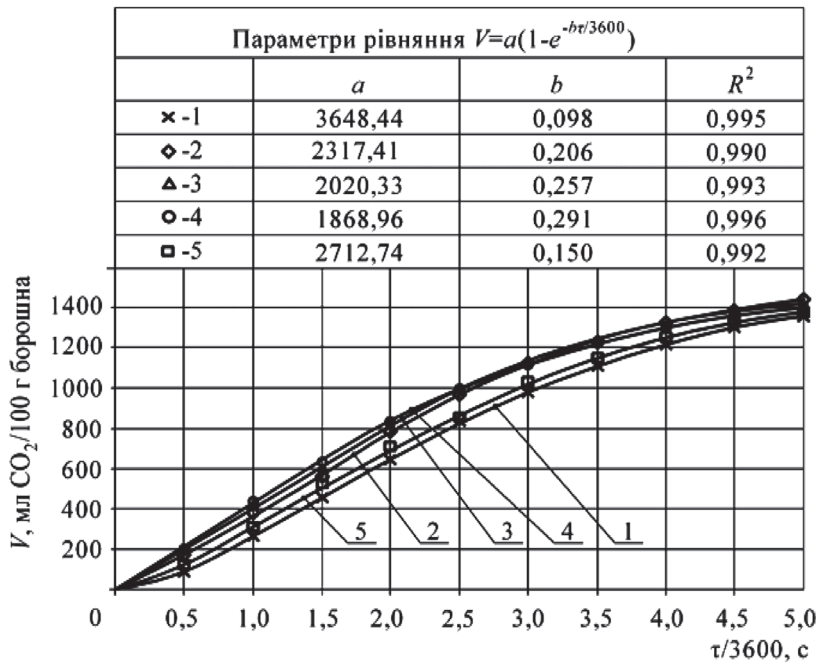


Рисунок 3 — Динаміка газоутворення

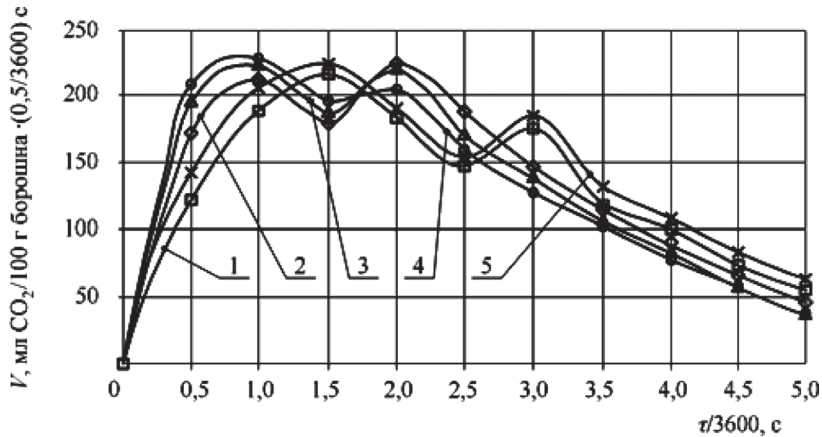


Рисунок 4 — Швидкість газоутворення:

1 — контроль; 2 — 1 % СКД; 2 — 3 % СКД; 4 — 5 % СКД;
5 — 7 % СКД до маси борошна

Найвищий пік динаміки газоутворення спостерігається у зразках тіста з концентрацією СКД 5 % в обох досліджуваних партіях борошна. Перший пік підняття тіста зразків з додаванням СКД 1; 3 та 5 % спостерігається вже через годину, на відміну від контрольних зразків та зразків з концентрацією СКД 7 % — півтори години.

Таким чином, зважаючи на інтенсифікацію газоутворення впродовж перших двох годин бродіння, у зразках із додаванням СКД 5 % можна передбачити ефективність пришвидшеного способу тістоведіння з розрахунку на те, щоб максимум газоутворення тіста припав на час кінцевого розстоювання, що також підтверджує посилення на повне вилучення цукру, передбаченого рецептурою.

Отже, дослідження зміни об'єму тіста у процесі бродіння показали, що тісто обох досліджуваних зразків борошна з концентрацією СКД 5 % краще утримувало діоксид вуглецю, що забезпечило більший об'єм тіста. Можна допустити, що в оптимальній концентрації СКД сприяє утворенню водневих і гідрофобних зв'язків, завдяки чому покращуються властивості білкового каркасу утримувати CO_2 .

Формування фізичних властивостей тіста залежить від багатьох чинників, здебільшого — від співвідношення біополімерів борошна, стану його білково-протеїнажного комплексу та від рецептури тіста.

СКД містить білки та крохмаль, які можуть суттєво впливати на формування структурно-механічних властивостей тіста. Окрім того, СКД оброблено лимонною кислотою, а як відомо, стан білкових речовин значно змінюється під дією кислот. З вище зазначеного випливає доцільність дослідження впливу СКД та її концентрації на структурно-механічні властивості пшеничного тіста.

Фізичні властивості тіста визначали як під час замісу на динамічних реєструючих приладах (фаринограф Brabender), так і в процесі його ферментації протягом 135·60 с (екстенсограф Brabender). Це дозволило дати комплексну оцінку впливу СКД на структурно-механічні властивості пшеничного тіста протягом технологічного процесу.

За результатами дослідження встановлено, що СКД позитивно впливають на якісні показники клейковини та пружньо-еластичні властивості тіста. За умови підвищення кількості СКД до 5 % до маси борошна спостерігається пропорційне зростання пружності в межах 5...9 %. Отримані результати корелюються з даними розшифровки фаринограм. Показник розрідження тіста у зразках з СКД зменшується на 10...12 %, а показники еластичності та стабільності зростають.

Дослідження структурно-механічних властивостей тіста під час ферментації показали, що додавання СКД у кількості 1,3, та 5 % до маси борошна сприяють підвищенню міцності тіста з опору деформації розтягування протягом усього часу ферментації. За результатами досліджень найбільш раціональною виявлено концентрацію СКД у кількості 5 % до маси борошна, підвищення вмісту СКД негативно впливає на структурно-механічні властивості борошна.

Висновки. Досліджено вплив СКД на біотехнологічні властивості хлібопекарних дріжджів. Встановлено, що використання СКД у середовищі попередньої активації дає змогу збільшити питому швидкість росту дріжджів на 0,3 %, на відміну від модельної системи із цукром. Установлено вплив СКД на показники ферментативної активності дріжджів. Визначено, що концентрація СКД 5 % до маси борошна сприяє покращенню показників зимазної активності на 30 %, а мальтазної — на 22 %, що сприяє пришвидшенню часу першого підняття тіста та врешті дозволяє скоротити час технологічного процесу розстоювання тіста на 30–35 %. Визначено здатність СКД впливати на стан білків, що, своєю чергою, покращує структурно-механічні та реологічні властивості тіста. За умови підвищення кількості СКД до 5 % до маси борошна спостерігається пропорційне зростання пружності до 7 %, показник розрідження тіста зменшується на 10 %, а показники еластичності та стабільності зростають на 8 та 1,5 % відповідно.

Отже, у даному напрямку планується провести дослідження можливості використання СКД у дріжджових напівфабрикатах з житнього борошна.

Список літератури

1. Cauvain, S. P. (2016). Bread: Breadmaking Processes. *Encyclopedia of Food and Health*, pp. 478–483. doi: 10.1016/b978-0-12-384947-2.00087-8.
2. Huang, S., Miskelly, D. (2016). Optional Ingredients for Dough. *Steamed Breads*, pp. 47–63. doi: 10.1016/b978-0-08-100715-0.00004-5.
3. Popova, S., Slashcheva, A., Nykyforov, R., Korenets, Y. (2016). Study of the protein-carbohydrate mix effect on the technological properties of short yeast-leavened dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 2 (11 (80)), pp. 24–31. doi: 10.15587/1729-4061.2016.64294.
4. Lebedenko, T. E., Kozhevnikova, V. O., Sokolova, N. Yu. (2015). Modern ideas about the nutritional value of bakery products. The main directions of their correction. *Grain products and mixed fodders*, no. 2 (58), pp. 19–25. doi: 10.15673/2313-478x.58/2015.46011.
5. Hadiyanto, Asselman, A., Straten, G. van, Boom, R. M., Esveld, D. C., Bostel, A. J. B. van (2007). Quality prediction of bakery products in the initial phase of process design. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, no. 8 (2), pp. 285–298. doi: 10.1016/j. ifset.2007.01.006.
6. Ronda, F., Pérez-Quirce, S., Villanueva, M. (2017). Rheological Properties of Gluten-Free Bread Doughs: Relationship With Bread Quality. *Advances in Food Rheology and Its Applications*, pp. 297–334. doi: 10.1016/b978-0-08-100431-9.00012-7.

7. Sanz, T., Salvador, A., Hernández, M. J. (2017). Creep–Recovery and Oscillatory Rheology of Flour-Based Systems. *Advances in Food Rheology and Its Applications*, pp. 277–295. doi: 10.1016/b978-0-08-100431-9.00011-5.

8. Heertje, I. (2014). Structure and function of food products: A review. *Food Structure*, no. 1 (1), pp. 3–23. doi: 10.1016/j.foostr.2013.06.001.

9. Popova, S., Slashcheva, A., Nykyforov, R., Korenets, Yu. (2016). Study of rheology of yeast dough with protein-carbohydrate additive. *EUREKA: Life Sciences*, no. 4 (4), pp. 37–44. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00190.

References

1. Cauvain, S. P. (2016). Bread: Breadmaking Processes. *Encyclopedia of Food and Health*, pp. 478–483. doi: 10.1016/b978-0-12-384947-2.00087-8.

2. Huang, S., Miskelly, D. (2016). Optional Ingredients for Dough. Steamed Breads, pp. 47–63. doi: 10.1016/b978-0-08-100715-0.00004-5.

3. Popova, S., Slashcheva, A., Nykyforov, R., Korenets, Y. (2016). Study of the protein-carbohydrate mix effect on the technological properties of short yeast-leavened dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 2 (11 (80)), pp. 24–31. doi: 10.15587/1729-4061.2016.64294.

4. Lebedenko, T. E., Kozhevnikova, V. O., Sokolova, N. Yu. (2015). Modern ideas about the nutritional value of bakery products. The main directions of their correction. *Grain products and mixed fodders*, no. 2 (58), pp. 19–25. doi: 10.15673/2313-478x.58/2015.46011.

5. Hadiyanto, Asselman, A., Straten, G. van, Boom, R. M., Esveld, D. C., Boxtel, A. J. B. van (2007). Quality prediction of bakery products in the initial phase of process design. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, no. 8 (2), pp. 285–298. doi: 10.1016/j.ifset.2007.01.006.

6. Ronda, F., Pérez-Quirce, S., Villanueva, M. (2017). Rheological Properties of Gluten-Free Bread Doughs: Relationship With Bread Quality. *Advances in Food Rheology and Its Applications*, pp. 297–334. doi: 10.1016/b978-0-08-100431-9.00012-7.

7. Sanz, T., Salvador, A., Hernández, M. J. (2017). Creep–Recovery and Oscillatory Rheology of Flour-Based Systems. *Advances in Food Rheology and Its Applications*, pp. 277–295. doi: 10.1016/b978-0-08-100431-9.00011-5.

8. Heertje, I. (2014). Structure and function of food products: A review. *Food Structure*, no. 1 (1), pp. 3–23. doi: 10.1016/j.foostr.2013.06.001.

9. Popova, S., Slashcheva, A., Nykyforov, R., Korenets, Yu. (2016). Study of rheology of yeast dough with protein-carbohydrate additive. *EUREKA: Life Sciences*, no. 4 (4), pp. 37–44. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00190.

Objective. The purpose of this article is to study the effect of the plant additive — dry potato additive on the properties of yeast dough.

Methods. During the research, standard methods were used to determine the dynamics of yeast cell reproduction, gas formation rate, zymase and maltose activity, structural and mechanical properties of the dough.

Results. It is proposed to use dry potato additive (DPA) in the technology of yeast semi-finished product. Experimental studies have led to the development of an accelerated method of preparation of yeast dough, which involves the addition of additives to the yeast suspension. In accordance with the goal, the development of accelerated technology for the production of yeast semi-finished products with the separation of systems and subsystems was substantiated and the optimal dosage of DPA and rational parameters of pre-activation of yeast (PAD) were determined; the influence of DPA on the main components of the dough is investigated; the structural and mechanical properties of the yeast semi-finished product in the presence of DPA are determined. The influence of DPA on the biotechnological properties of baker's yeast has been studied. It is established that the use of DPA in the environment of pre-activation allows to increase the specific growth rate of yeast by 0.3 %, in contrast to the model system with sugar. The influence of DPA on the indicators of enzymatic activity of yeast was established. It is determined that the concentration of DPA 5 % by weight of flour helps to improve

zymase activity by 30 % and maltase — by 22 %, which accelerates the time of the first raising of the dough and ultimately reduces the time of the dough proofing process by 30–35 %. The ability of DPA to influence the state of proteins was determined, which, in turn, improves the structural-mechanical and rheological properties of the dough. If the amount of dry potato additive increases to 5 % by weight of flour, there is a proportional increase in elasticity to 7 %, the rate of dough thinning decreases by 10 %, and the indicators of elasticity and stability increase by 8 % and 1.5 %, respectively.

Key words: yeast semi-finished products, dry potato additive, the activity of amylase and zymase, gas formation.

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -40-1-19-25

UDC 664.664.4:663.918

*Yudina T. I., Grand PhD in Engineering sciences,
Professor¹*

Bezruchenko O. M., PhD student¹

Aharova O. V., студент¹

¹ Kyiv National University of Trade and Economics (Kyiv, Ukraine), e-mail: yudina2902@gmail.com

GLUTEN-FREE CAKES WITH CEREAL FLOUR

УДК 664.664.4:663.918

Юдіна Т. І., д-р техн. наук, професор¹

Безрученко О. М., аспірант¹

Агапова О. В., Student¹

¹ Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна, e-mail: yudina2902@gmail.com

БЕЗГЛЮТЕНОВІ КЕКСИ З БОРОШНОМ КРУП'ЯНИХ КУЛЬТУР

Objective. To substantiate the composition and ratio of flour raw materials in the technology of gluten-free cupcakes using milk protein concentrate.

Methods. Sampling and preparation for the study were performed according to DSTU ISO 6498:2006. Studies of the viscosity of the dough for the cupcakes was carried out on a rotary viscometer «Reotest-2» in the range of shear rates from 0.167 to 4.5 s⁻¹. Measurements were taken immediately after mixing at room temperature 20±2 °C. Organoleptic evaluation of ready-made cupcakes is determined by the five-point system. Each organoleptic quality index is assigned a weighting factor: 0.20 for appearance, 0.15 for color, 0.25 for consistency, 0.15 for smell, 0.25 for taste.

Results. The expediency and possibility of using corn and rice flour mixes in the ratio of 60...70 % and 40...30 %, respectively, of the total amount of gluten flour of cereals according to the recipe are substantiated. The technology of gluten-free cupcake using milk protein concentrate scallops was developed. The method of obtaining a new flour confectionery product — gluten-free cupcake — is as follows: softened butter and sugar are beaten for (12...18) • 60 s, combined with pre-rubbed milk protein concentrate cracks and continue whisking until smooth. Then add the mélange, baking soda, ammonium, mix thoroughly, pour in a mixture of corn and rice flour and knead the dough for (5...7) • 60 seconds. The dough is spread into prepared forms and baked at 160...170 °C for (20...25) • 60 sec. Ready-made cupcakes are sprinkled with refined powder and sold. The proposed technology allows to expand the range of gluten-free pastry products with high nutritional value.

Keywords: gluten-free muffins, rice flour, corn flour, structural and mechanical properties, nutritional value, technological scheme.

Надійшла до редакції 02.04.2019 р. © Т. І. Юдіна, О. М. Безрученко, О. В. Агапова, 2020

Formulation of the problem. To date, food genomics has proven not only the relationship of nutrition with the human genome but also the possibility of preventing diseases induced by improper nutrition. Among the diseases associated with poor nutrition, the treatment of which can be modified by the introduction of personalized nutrition is celiac disease — a chronic, genetically determined disease that manifests itself in persistent gluten intolerance (cereal protein of wheat, rye, barley, oats) with the development of atrophy of the small intestine mucosa and associated malabsorption syndrome [1].

According to the all-Ukrainian society of celiac disease, 450 thousand Ukrainians suffer from this disease every year. The most common disease is detected among children in the age group from six months to two years, who develop permanent gluten intolerance. In recent years, the average age of patients diagnosed with celiac disease is 45 years, and 25 % of celiac disease is detected in the age group over 60 years [2].

The only way to treat this disease and prevent all its severe complications is strict and lifelong adherence to a gluten-free diet. At the same time, all products from wheat and rye flour, oats, and barley are excluded from the diet. Among cereals, it is allowed to use buckwheat, corn, rice. Milk and dairy products are excluded since celiac disease is often accompanied by lactose intolerance. Use fresh cottage cheese in its natural form and in products, butter [3, 4].

Unfortunately, in Ukraine, the production of gluten-free products is not effective, the needs of the population in gluten-free products are provided by products of foreign origin. Along with finished products, mixtures for the preparation of bakery, confectionery, and pasta are supplied to Ukraine.

Saturation of the market with gluten-free food products is one of the problems posed by life to scientists and industry in the country. Special attention, in our opinion, should be paid to bakery products and flour confectionery products (FCP), which are the most commonly used and are the main source of gluten, because they include wheat flour as the main raw material resource.

Analysis of recent research and publications. In the overall structure of the FCP market, cakes occupy up to 15 % of total production. These products have a pleasant appearance and taste, are well absorbed by the human body and therefore are popular with the population.

Analysis of the literature indicates that the use of gluten-free flour in the production of pastry, including cakes on chemical baking powder, causes a number of technological problems and requires a variety of tools to improve the structure of the gluten-free dough. The fact is that gluten wheat flour (gluten) has unique technological properties that play an important role in the formation of structural and mechanical properties of flour dough and the texture of finished products. After moistening and mixing, the proteins of non-gluten flour varieties do not develop into a visco-elastic network, like wheat proteins [5].

The steps for regulating the structural and mechanical properties of gluten-free dough are defined. First, it is the use of flour mixtures, rather than individual types of gluten-free flour, which allows to significantly improve the nutritional and biological value, the structure of products; expand the raw material base, and the range of finished products [6].

According to modern scientific ideas, in the absence of a hydrated gluten network, one of the important factors in optimizing and stabilizing the process of gas content formed in a gluten-free test is a sufficient amount of water to hydrate the biopolymers of the dough and obtain the desired viscosity. To increase the hydration capacity of a gluten-free test, you can add protein substances [7].

Therefore, the scientific and practical interest is in milk and protein concentrates, in particular, milk and protein concentrate (MPC) of buttermilk — the source of a unique protein system, which is represented by proteins of high nutritional value. In addition to enhancing the nutritional capacity of the dough, this step allows you to combine animal proteins with vegetable flour proteins, creates prerequisites for expanding the range of gluten-free cakes with increased biological value.

Purpose of the article. The purpose of this work is to scientifically substantiate the composition and ratio of flour raw materials in the technology of gluten-free cakes using a milk-protein concentrate (MPC) of buttermilk.

According to this goal, according to the selected research areas, the following tasks had to be solved in the course of work:

- determine the technological feasibility of using non-gluten flour of cereals in the technology of gluten-free cakes;
- to justify the ratio of gluten-free flour types in the technology of gluten-free cakes using milk-protein buttermilk concentrate;
- to develop a technological scheme of obtaining of gluten-free cakes using a milk-protein concentrate, buttermilk.

Presenting main material. Classic recipes for gluten-free FCP are based on the use of economically available types of non-gluten flour — rice and corn, less often buckwheat. The main disadvantage of such products is their low nutritional value, due to the high content of starch in non-gluten flour raw materials, low content of proteins, dietary fibers, vitamins, and mineral nutrients [3].

Each type of agglutinated cereal flour has specific features of its chemical composition and functional properties. Thus, the average protein content in buckwheat flour is 12.6 %, rice flour — 7 %, corn flour — 8 % [8].

The protein of buckwheat flour is well balanced in amino acid composition, in terms of lysine content, it exceeds the protein of wheat and rye. Buckwheat flour has more calcium and iron in comparison with flour of other cultures, it contains vitamins B₁, B₂, PP, and E. The Rutin of this flour increase the strength of capillaries, lecithin and arginine reduce the content of cholesterol in the blood. It is dominated by albumins and globulins, which are easily digested by the body. The fiber in buckwheat flour is 1.5–2 times more than in oatmeal and rice. It contains the enzyme lipoxigenase.

The amino acid composition of rice protein is close to buckwheat. Rice processing products are rich in vitamins B₁ and B₂, phosphorus, phytinum, and lecithin. Rice flour contains silicon, which contributes to the processes of metabolism in the human body, Biotin, as well as other vitamins and trace elements of important medical and biological significance.

Corn flour contains more lipids, sugars, and hemicellulose than wheat flour. This flour is rich in K, Ca, Md and F, vitamins E and B₂, and Biotin. The composition of its fats is dominated by polyunsaturated (linoleic and linolenic). The proteins of cornflour swell slightly. Flour does not contain gluten, does not form gluten, but has a great gas-forming ability.

An important technological property of the flour understudy, on which the humidity and rheological properties of the dough depend, is its water-absorbing ability (WAA). According to some researchers [6–8], the WAA of gluten-free dough from rice, buckwheat, and cornflour is very different due to different chemical composition and granulometric characteristics.

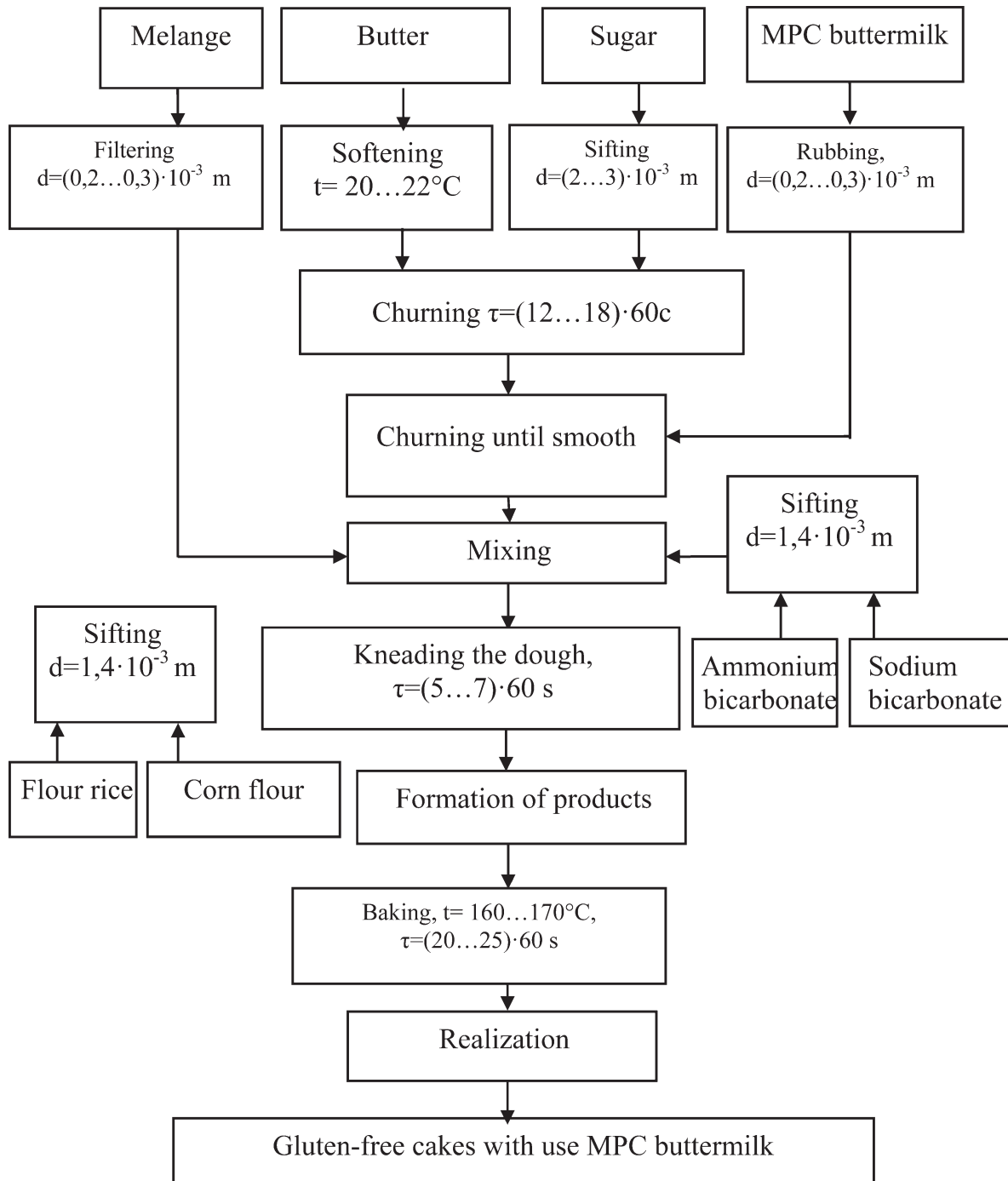
Thus, varying the quantitative composition of the composite mixture of the designated types of gluten-free flour will not only eliminate the existing disadvantages of their chemical composition but also correct the rheological properties of dough and flour confectionery products.

A promising raw material for the production of gluten-free cakes is also the MPC of buttermilk, which is obtained from dairy raw materials by the joint precipitation of casein and whey proteins. It has a biological value significantly higher than cottage cheese since whey proteins have an advantage over casein fractions in terms of the content of essential amino acids. The increased nutritional value of buttermilk MPC is caused by the content of 20.8 % protein, 1.34 % fat, 0.16 % calcium, 0.24 % phosphorus, and trace elements and water-soluble vitamins [9].

Based on a series of preliminary experiments and taking into account the information contained in the scientific and technical literature, a technological scheme for obtaining a gluten-free cake using milk-protein buttermilk concentrate was developed (picture 1).

The developed technology provides for the introduction of a certain ratio of corn and rice flour, as well as milk and protein concentrate of buttermilk into the dough.

The method for obtaining a new flour pastry — gluten-free cakes — is as follows: softened butter and sugar whipped for (12...18) * 60 s, combined with pre-rubbed MPC buttermilk and continue whipping until smooth. Then add melange, soda, and ammonium, mix thoroughly, add a mixture of corn and rice flour and knead the dough for (5...7)*60 seconds. The dough is laid out in prepared forms and baked at a temperature of 160...170 °C for (20...25)*60 seconds. Ready-made cakes are sprinkled with refined powder and sold.



Picture 1 — Technological scheme for obtaining gluten-free cake using buttermilk concentrate

In order to determine the rational amount of gluten-free flour raw materials, model food compositions were constructed (table. 1) and the study of their structural-mechanical and organoleptic indicators. For control, we choose the «cheese» cakes made using traditional technology was selected [10].

Samples of products made of different types of flour and flour mixtures were examined, in which the amount of each type of flour in the mixture varied from 20 to 80 %. In the course of laboratory baking, the inexpediency of using any one type of flour was revealed due to the low quality of organoleptic indicators.

The study of the viscosity of the dough for the cakes was carried out on a rotary viscometer «Reotest-2» in the range of shear rates from 0.167 to 4.5 s⁻¹, since it is known that the structure of the cakes dough is destroyed at higher shear rates [11]. Measurements were taken immediately after mixing at room temperature of 20 ± 2 °C. The results of the studies are given in Table. 2.

Table 1 — Model food compositions of gluten-free cake using MPC buttermilk

№	Indicator	The ratio of raw materials, %					
		Control	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3	Experiment 4	Experiment 5
1	Wheat flour	23,9	—	—	—	—	—
2	Flour rice	—	19,1	14,3	9,6	7,2	4,8
3	Corn flour	—	4,8	9,6	14,3	16,7	19,1
4	Sugar	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3
5	Butter	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
6	Cottage cheese 18 % fat	21,3	—	—	—	—	—
7	MPC buttermilk	—	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3
8	Melange	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6
9	Ammonium bicarbonate	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
10	Sodium bicarbonate	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Table 2 — Gluten free cakes dough test quality using MPC buttermilk

Indicator	Control	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3	Experiment 4	Experiment 5
Effective viscosity, Pa·s, $\gamma=0,9 \text{ c}^{-1}$	168,78	198,60	187,20	175,4	168,9	135,7

The presented data shows that compared to the control sample viscosity in experiments 1 and 2 increases. This is due to the high humidity of rice flour and buttermilk MPC. The closest values of viscosity relative to the control have experience № 3 and № 4.

The organoleptic rating of ready-made cakes is determined by a five-point system. Each organoleptic quality indicator is assigned a weighting coefficient: for appearance — 0.20, for colour — 0.15, for consistency — 0.25, for flavour — 0.15, for taste — 0.25. The results of the study are shown in table 3.

As shown by the results of test laboratory bakery, an increase in the amount of rice flour in the recipe of the mixture of more than 40 % leads to a decrease in the specific volume of ready-made cakes by 23 %, the formation of a dense crumb with low porosity due to the high volumetric capacity of rice flour. And an increase in the amount of cornflour in the recipe of the mixture of more than 70 % leads to the production of finished products with an unsatisfactory crumb-like consistency.

Results of organoleptic evaluation (table. 3) indicate that the best indicators have experiments 3 and 4 with a ratio of corn and rice flour 60...70 % and 30...40 %, respectively, of the total amount of flour mixture according to the recipe.

The resulting products are characterized by a good appearance, a convex surface without breaks, a dense yellow flesh with a texture that is adequate for the traditional «Cheese» cakes.

Conclusion. The expediency and possibility of using corn and rice flour in the ratio of 60–70 % and 30–40 % respectively of the total amount of flour mixture according to the recipe in the technology of gluten-free cakes are proved. The proposed technology of gluten-free cakes using

Table 3 — Organoleptic quality assessment of gluten-free cakes using MPC buttermilk

Indicator	Weighting factor	control	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3	Experiment 4	Experiment 5
Outer appearance	0,20	5,0	4,8	5,0	5,0	5,0	5,0
Colour	0,15	5,0	4,9	5,0	5,0	4,9	4,9
Taste	0,25	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8	4,7
Smell	0,15	4,9	5,0	4,9	5,0	5,0	4,9
Texture	0,25	4,9	4,5	4,7	4,9	4,9	4,7
Base score	1,0	24,8	24,1	24,5	24,7	24,6	24,2

MPC buttermilk allows you to expand the range of gluten-free flour confectionery products with increased nutritional value.

The prospect of further research in this direction provides for the study of the influence of prescription components on the processes of dough-making in the production of gluten-free cakes with a different sugar, fat, egg products.

Список літератури

1. Jeffrey, L., Atwell, W. A. (2014). *Gluten-free baked products*. AACC International, Inc. 88 p.
2. Горобець А. О. Особливості харчування дітей при целиакії. *Медицина транспорту України*. 2015. № 3–4. С. 45–50.
3. Новая технология производства хлебобулочных изделий, не содержащих глютен. *Food Technologies & Equipment*, 2008. № 7. С. 9.
4. Дорохович В. В. Наукове обґрунтування та розроблення технологій борошняних кондитерських виробів спеціального дієтичного призначення : автореф. дис. ... на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : 05.18.16. Київ, 2010. 39 с.
5. Schober, J. T., Messerschmidt M., Bean S. R., Park S. H., Arendt E. K. (2004). Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry*, vol. 82, pp. 394–404.
6. Матвеева И., Нестеренко В. Перспективные виды сырья для производства безглютеновых изделий. *Хлебобродукты*. 2011. № 8. С. 42–44.
7. Цыганова Т., Шнейдер Д., Костылева Е., Козлов А. Формирование рецептур для производства безбелковых и безглютеновых продуктов. *Хлебобродукт*. 2011. №12. С. 44–46.
8. Дробот В. І., Грищенко А. М. Технологічні аспекти використання борошна круп'яних культур у технології безглютенового хліба. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 2013. Вип. 30. С. 52–58.
9. Дейниченко Г. В., Юдіна Т. І., Ветров В. М. Нові види копреципітатів та їх використання в харчових технологіях : монографія. — Донецьк : Донеччина, 2010. 176 с.
10. Павлов О. В. Збірник рецептур борошняних кондитерських і здобних булочних виробів : навчально-практичний посібник. Київ : ПрофКнига, 2018. — 336 с.
11. Lisovska, T., Rybak, O., Kuhtyn, M., Chorna, N. (2015). Investigation of water binding in spongecake with extruded corn meal. *Ukrainian Food Journal*, vol. 4, iss. 3, pp. 413–422.

References

1. Jeffrey, L., Atwell, W. A. (2014). *Gluten-free baked products*. AACC International, Inc. 88 p.
2. Horobets A. O. (2015). *Osoblyvosti kharchuvannia ditei pry tseliakii* [Feeding features of children with celiac disease]. *Medytsyna transportu Ukrainy* [Transport medicine of Ukraine], no. 3–4, pp. 45–50.

3. *Novaia tekhnolohyia proyzvodstva khlebobulochnykh yzdelyi, ne sodержashchykh hliuten* (2008). [New technology for the production of gluten-free bakery products]. Food Technologies & Equipment, no. 7, 9 p.
4. Dorokhovych, V. V. (2010). *Naukove obgruntuvannia ta rozroblennia tekhnolohii boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv spetsialnogo diietychnoho pryznachennia* [Scientific substantiation and development of flour technologies of special-purpose confectionery]. Kyiv, 39p.
5. Schober J. T. (2004). Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids / J. T. Schober, M. Messerschmidt, S. R. Bean, S. H. Park, E. K. Arendt. *Cereal Chemistry*, Vol. 82. Pp. 394–404.
6. Matveeva Y., V. Nesterenko (2011). *Perspektyvnie vydi syria dlia proyzvodstva bezghliutenovykh yzdelyi* [Promising types of raw materials for the production of gluten-free products]. *Khleboprodukty* [Bakery products]. no. 8, pp. 42–44.
7. Czyganova, T., Shnejder, D., Kostyleva, E., Kozlov, A. (2011). *Formirovanie receptur dlya proyzvodstva bezbelkovykh i bezglyutenovykh produktov* [Formulation of the production of protein-free and gluten-free products]. *Khleboprodukty* [Bakery products], no.12, pp. 44–46.
8. Drobot, V. I., Hryshchenko, A. M. (2013). *Tekhnolohichni aspekty vykorystannia boroshna krupianykh kultur u tekhnolohii bezghliutenovoho khliba* [Technological aspects of the use of cereal flour in gluten-free bread technology]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnystv* [Food production equipment and technologies], iss. 30, pp. 52–58.
9. Deinychenko, H. V., Yudina, T. I., Vetrov, V. M. (2010). *Novi vydy kopretsypitativ ta yikh vykorystannia v kharchovykh tekhnolohiiakh* [New types of coprecipitates and their use in food technology]. Donetsk, 176 p.
10. Pavlov O. V. (2018). *Zbirnyk retseptur boroshnianykh kondyterskykh i zdobnykh bulochnykh vyrobiv* [Recipe book of flour confectionery and capable bakery]. Kyiv, Prof. Book, 848 p.
11. Lisovska, T., Rybak, O., Kuhtyn, M., Chorna, N. Investigation of water binding in spongecake with extruded corn meal. *Ukrainian Food Journal*. 2015. vol. 4. iss. 3, pp. 413–422.

Мета — обґрунтувати склад та співвідношення борошняної сировини у технології безглютенових кексів з використанням молочно-білкового концентрату сколотин.

Методи. Відбір проб і підготовку їх до дослідження здійснювали за ДСТУ ISO 6498:2006. Дослідження в'язкості тіста для кексів виконували на ротаційному віскозиметрі «Рео-тест-2» у діапазоні швидкостей зсуву від 0,167 до 4,5 с⁻¹. Вимірювання проводили одразу після замісу за кімнатної температури 20 ± 2 °С. Органолептичну оцінку готових кексів визначено за п'ятибальною системою. Кожному органолептичному показнику якості присвоєно коефіцієнт вагомості: для зовнішнього вигляду — 0,20, для кольору — 0,15, для консистенції — 0,25, для запаху — 0,15, для смаку — 0,25.

Результати. Обґрунтовано доцільність та можливість використання у технології безглютенових кексів суміші кукурудзяного та рисового борошна у співвідношенні 60...70 % і 40...30 % відповідно, від загальної кількості глютенного борошна круп'яних культур за рецептурою. Розроблено технологію безглютенного кексу з використанням молочно-білкового концентрату сколотин (МБК). Спосіб одержання нового борошняного кондитерського виробу — безглютенного кексу — здійснюється так: розм'якшене вершкове масло і цукор-пісок збивають протягом (12...18)·60 с, з'єднують із попередньо протертим МБК сколотин і продовжують збивання до однорідної маси. Потім додають меланж, соду, амоній, ретельно перемішують, всипають суміш кукурудзяного та рисового борошна і замішують тісто протягом (5...7)·60 с. Тісто розкладають у підготовлені форми і випікають за температури 160...170 °С протягом (20...25)·60 с. Готові кекси посипають рафінадною пудрою і реалізують. Запропонована технологія дозволяє розширити асортимент безглютенових борошняних кондитерських виробів з підвищеною харчовою цінністю.

Ключові слова: безглютенові кекси, рисове борошно, кукурудзяне борошно, структурно-механічні властивості, харчова цінність.

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -40-1-26-31

УДК 664.6: [663.4–024.42:664.644] (045)

Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент¹

Назаренко І. А., канд. техн. наук, доцент¹

Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент¹

Боднарук О. А., асистент¹

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

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ ПИВНОЇ ДРОБИНИ НА ОСНОВНІ ХЛІБОПЕКАРСЬКІ ВЛАСТИВОСТІ ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА

UDC 664.6: [663.4–024.42:664.644] (045)

*Goriainova Yu. A., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*

*Nazarenko I. A., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*

*Simakova O. O., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*

Bodnaruk O. A., Assistant Professor

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

STUDY OF THE EFFECT OF BEER PELLET ADDITIVES ON THE BASIC BAKING PROPERTIES OF WHEAT FLOUR

Мета — вивчити вплив добавки пивної дробини на хлібопекарські властивості пшеничного борошна як основного рецептурного компонента хлібобулочних виробів.

Методи. Сушіння пивної дробини проводили за температури 70 °С протягом 2,5 год до постійної маси зразка в сушильній шафі СЕШ-3МК. Порошок з пивної дробини отримували за допомогою мікроподрібнювача тканин РТ-1. Визначення числа падіння пшеничного борошна в присутності добавки пивної дробини проводили за допомогою приладу ПЧП-7 згідно з ГОСТ 27676-88 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения». Визначення кількості та якості сирової клейковини пшеничного борошна в присутності пивної дробини — на вимірювачі деформації клейковини — ИДК-3 згідно з ГОСТ 27839-88 «Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины». Білість пшеничного борошна в присутності добавки пивної дробини визначали на приладі ВББ-1МК.

Результати. Експериментально доведено можливість використання пивної дробини як добавки до пшеничного борошна у технологіях хлібобулочних виробів. Встановлено, що добавка пивної дробини в кількості 10–30 % від маси пшеничного борошна зменшує число падіння на 3–11 % порівняно з контрольним зразком (пшеничне борошно вищого гатунку без добавок). Це свідчить про вплив ферментів добавки пивної дробини на крохмаль, про збільшення автолітичної активності композиційної суміші. Добавка пивної дробини послаблює клейковину, колір її стає темнішим. Отримані результати свідчать про доцільність використання таких композиційних сумішей при виробництві різноманітних борошняних кондитерських виробів.

Загалом доведено, що добавка пивної дробини (до 20 %) у вигляді порошку не погіршує хлібопекарських властивостей пшеничного борошна.

Ключові слова: пивна дробина, пшеничне борошно, число падіння, клейковина, білість борошна.

Надійшла до редакції 10.03.2019 р. © Ю. А. Горайнова, І. А. Назаренко, О. О. Сімакова, О. А. Боднарук, 2020

Постановка проблеми. У сучасних умовах захворювання серця, судин, легенів, печінки, нирок, суглобів часто зумовлені незбалансованим харчуванням, нестачею в їжі окремих амінокислот, вітамінів, рослинних жирів, мікроелементів, харчових волокон, надмірним споживанням холестерину, тваринних жирів і рафінованих продуктів. Проблема підвищення харчової цінності улюблених ласощів — борошняних кондитерських виробів — та зниження їх калорійності, подовження термінів зберігання залишається актуальною та вирішується в багатьох напрямках, серед яких особливо перспективним та досить актуальним є використання різноманітних добавок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед добавок багато саме рослинного походження. У цьому напрямку йде постійний пошук нових добавок.

Вирішенню цієї проблеми присвячені наукові роботи вчених ХДУХТ, НУХТ, КНТЕУ тощо. З-поміж них О. В. Самохвалова, М. Ф. Кравченко, Т. М. Лозова, В. І. Дробот та ін.

Так, у Харківському державному університеті харчування та торгівлі досліджують доцільність використання трав солодки, деревію та звіробою у технології крекерів [1].

Кафедра готельно-ресторанного бізнесу КНУКМ вивчає можливість використання морквяного пюре та олії з насіння гарбуза в технології борошняних кондитерських виробів [2].

Кафедра товарознавства та експертизи якості товарів ХТЕІ КНТЕУ проводить наукові дослідження щодо використання суміші харчових волокон та шроту з насіння гарбуза в технології виробництва борошняних кондитерських виробів для розширення асортименту кондитерських виробів підвищеної біологічної цінності та виробів зі зниженим рівнем калорійності [3].

Викладачі кафедри технології і організації ресторанного господарства КНТЕУ вивчають доцільність використання кедрового шроту, кунжутного борошна, фітопорошку з гірчака зміїного в технологіях пряників [4].

Дослідники Львівського торговельно-економічного університету на чолі з Т. М. Лозовою займаються питаннями антиоксидантної активності таких добавок, як корінь солодки, корінь імбиру, листя шавлії, листя смородини, листя малини, корінь алтею, плоди глоду.

У ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського ведуться дослідження стосовно використання в технології борошняних кондитерських виробів добавок амаранту багрянцю, чорноплідної горобини, шовковиці [6, 7].

Отже, проблема підвищення харчової цінності борошняних кондитерських виробів та зниження їх калорійності, подовження термінів зберігання залишається актуальною та вирішується в багатьох напрямках, серед яких особливо перспективним виглядає використання різноманітних рослинних добавок.

Мета статті — вивчити вплив добавки пивної дробини на деякі властивості пшеничного борошна: число падіння, кількість та якість клейковини, білість.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нашу увагу привернула пивна дробина [8,9], яка є джерелом білка, клітковини, вітамінів групи В, Е, ряду макро- і мікроелементів. Пивна дробина складається переважно з подрібнених зернопродуктів, що залишилися після фільтрування затору під час виробництва пива.

Пшеничне борошно є головним рецептурним компонентом хлібобулочних виробів. Від його властивостей залежить якість кінцевого продукту.

Дослідження впливу добавки пивної дробини на стан вуглеводно-амілазного комплексу пшеничного борошна здійснювали за числом падіння. Число падіння — це показник, який посередньо характеризує активність α -амілази зерна або борошна і пов'язаний із вмістом у них пророслих зерен. Встановлено, що пророслі зерна мають дуже активну α -амілазу, тому виготовлене з них борошно характеризується підвищеною цукро- і газотворюючою здібностями. Хліб з такого борошна темний, із рваними скоринками і тріщинами у м'якушу.

Для визначення числа падіння у пробірці створюють суспензію з борошна і води, витримують у водяній бані для клейстеризації крохмалю, охолоджують і опускають ван-

таж. Час, за який він досягне дна пробірки, має назву «число падіння» і визначається в секундах [10].

Нами було встановлено число падіння пшеничного борошна на приладі ПЧП-7 у присутності 10–30 % (від маси борошна) добавки пивної дробини. У даній серії експериментів використовували пшеничне борошно вищого гатунку «Varto», вироблене згідно з ГСТУ 46.044-99, виробник — ТОВ КВФ «Рома», клейковина якого характеризувалась як добра, I групи якості.

За методикою (ГОСТ 27676-88 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения») число падіння визначається в наважці борошна від 6,6 г до 7,05 г залежно від його вологості. За допомогою сушильної шафи СЕШ-3МК було визначено вологість пшеничного борошна вищого гатунку «Varto» — 13,7 %. Тому його наважка для визначення числа падіння становила 6,9 г. У випадку зразків з добавкою пивної дробини (10–30 % від маси борошна) кількість борошна відповідно зменшувалась. Решта наважки — добавка пивної дробини. Дані експерименту наведені в табл. 1.

Таблиця 1 — Число падіння пшеничного борошна в присутності добавки пивної дробини

Зразок	Число падіння, с
Пшеничне борошно без добавок (контроль)	445±20
Пшеничне борошно + пивна дробина (10 %)	430±19
Пшеничне борошно + пивна дробина (20 %)	412±17
Пшеничне борошно + пивна дробина (30 %)	396±16

Встановлено, що добавка пивної дробини (від 10 до 30 %) зменшує число падіння відповідно на 3–11 % порівняно з контрольним зразком (пшеничне борошно вищого гатунку без добавок). Це свідчить про вплив ферментів добавки на крохмаль, про збільшення автолітичної активності композиційної суміші. Число падіння всіх композиційних сумішей відповідає нормативним показникам ГСТУ 46.044-99 (не менше 160 с).

Найважливішим показником якості борошна є кількість та якість сирої клейковини. Тому нами було проведено визначення кількості та якості сирої клейковини пшеничного борошна в присутності пивної дробини (від 10 до 30 %).

Із використанням добавки пивної дробини замішували зразки тіста за допомогою тістомішалки ТЛ1-75 та визначали кількість сирої клейковини, пружні властивості клейковини на вимірювачі деформації клейковини ИДК-3 згідно з ГОСТ 27839-88 «Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины». Прилади ИДК призначені для визначення групи якості клейковини за величиною її деформації під дією навантаження масою 120 г протягом 30 с [10]. Принцип роботи приладу полягає у вимірюванні залишкової висоти зразка клейковини, на яку діяли вантажем дозованої маси (120 г) протягом заданого відрізка часу (30 с). Результати вимірювань пружності клейковини виражають в умовних одиницях шкали приладу. Що вища пружність клейковини, то менше стискається її кулька і тим менша величина $H_{идк}$. Результати вивчення впливу добавки пивної дробини на кількісні та якісні властивості клейковини наведені в табл. 2.

Аналіз результатів показує, що добавка пивної дробини в кількості 10–30 % від маси борошна послаблює клейковину, колір її стає темнішим. Це дозволяє використовувати такі композиційні суміші в технології хлібобулочних виробів, різноманітних борошняних кондитерських виробів, наприклад, пряників, або виробів з вівсяного та житнього борошна. Добавка пивної дробини в кількості 30 % значно послаблює клейковину.

Наступним етапом наших досліджень було визначення білості пшеничного борошна в присутності пивної дробини. Білість борошна характеризує повноту розділення ендосперму і периферійних часток зерна в процесі помелу. Частини ендосперму і оболонки мають різну здібність відбивати світлові промені.

Таблиця 2 — Вплив добавки пивної дробини на кількість та якість сирі клейковини пшеничного борошна

Зразок	Кількість сирі клейковини	Деформація $N_{\text{идк}}$, од. приладу	Показники якості	
			Якість клейковини	Колір
Пшеничне борошно без добавок (контроль)	29,4±1,5	67,5±3,5	Група якості I, клейковина добра	Світлий із жовтуватим відтінком
Пшеничне борошно + пивна дробина (10 %)	28,6±1,5	71,7±3,2	Група якості I, клейковина добра	Темний, трохи коричневий
Пшеничне борошно + пивна дробина (20 %)	26,3±1,4	77,0±3,8	Група якості I, клейковина добра	Темний, коричневий
Пшеничне борошно + пивна дробина (30 %)	25,4±1,3	84,6±4,0	Група якості II, клейковина задовільна слабка	Темний, коричневий

Між білістю і зольністю борошна експериментально встановлено високий кореляційний зв'язок. Метод визначення білості більш простий та економніший за часом ніж зольність, тому деякі підприємства контролюють сортність борошна за білістю. Білість пшеничного борошна в умовних одиницях по сортах повинна становить (ГСТУ 46.004-99): вищий — 54 і більше одиниць; перший — 36–53; другий — 12–35; обойна — без обмежень.

Білість сумішей пшеничного борошна з добавками пивної дробини визначали на приладі ВББ-1МК.

Таблиця 3 — Показники білості сумішей пшеничного борошна в присутності добавки пивної дробини

Зразок	Показники білості на ВББ-1МК, од. приладу	Висновок
Пшеничне борошно без добавок (контроль)	60,3±3,1	Вищий гатунок
Пшеничне борошно + пивна дробина (10 %)	42,1±1,8	Перший гатунок
Пшеничне борошно + пивна дробина (20 %)	37,2±1,5	Перший гатунок
Пшеничне борошно + пивна дробина (30 %)	34,2±1,4	Другий гатунок

Добавка пивної дробини сприяє зменшенню білості сумішей, надає їм більш темного кольору, що дозволяє припустити використання її, наприклад, у виробках з житнього борошна, замінюючи частину його в рецептурах.

Висновки. Встановлено, що добавка пивної дробини в кількості до 20 % від маси пшеничного борошна не погіршує його хлібопекарських властивостей. Одержані експериментальні дані свідчать про доцільність використання пивної дробини в технології хлібобулочних виробів як джерело додаткового білка, вітамінів, а також для розширення асортименту готової продукції.

Список літератури

1. Черевична Н. І., Скирда О. Є., Симоненко В. І. Розробка нових видів крекерів з нетрадиційною рослинною сировиною. *Молодий вчений*. 2017. № 2 (42). С. 220–224.
2. Завадинська О. Ю. Технологія борошняних кондитерських виробів оздоровчого призначення. *Траектория науки www.pathofscience.org. Электронный научный журнал*. 2016. № 4 (9). Раздел «Производство и технологии». С. 3.1–3.5.
3. Бачинська Я. Використання нетрадиційної сировини при виробництві борошняних кондитерських виробів як прогресивний напрямок створення продуктів підвищеної біологічної цінності. *Trayektoriya Nauki. www.pathofscience.org. International Electronic Scientific Journal*. 2017. Т. 3, № 2. Section “Technics”. С. 7.1–7.10.

4. Кравченко М. Ф., Ярошенко Н. Ю. Дослідження впливу вмісту рослинних добавок на показники якості пряників. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2017. № 5/11 (89). С. 45–54.
5. Лозова Т. М., Ковальчук Х. І. Дослідження антиоксидантної активності природних добавок. *Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча*. 2009. Вип. 11. С. 6–9.
6. Simakova, O., Korenets, Yu., Yudina, T., Nazarenko, I., Goriainova, Iu. (2018). Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, issue 11 (92), pp. 57–64.
7. Korenets, Y., Goriainova, I., Nykyforov, R., Nazarenko, I., Simakova, O. (2017). Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 2, iss. 10 (86), pp. 25–31.
8. Плиева З. А., Цугкиев Б. Г. Химический состав пивной дробины. *Известия ФГОУ ВПО «Горский государственный аграрный университет»*. Вып. 49, ч. 4. Владикавказ, 2012. С. 376–379.
9. Плиева З. А., Хозиев А. М. Минеральный состав пивной дробины. *Известия ФГОУ ВПО «Горский государственный аграрный университет»*. Вып. 51, ч. 4. Владикавказ, 2014. С. 331–333.
10. Дробот В. І. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів : навч. посіб. К. : Кондор-Видавництво, 2015. 972 с.

References

1. Cherevychna, N. I. Skyrda, O. Ie., Symonenko, V. I. (2017). *Rozrobka novykh vydiv krekeriv z netradytsiinoiu roslynnoiu syrovynoiu* [Development of new types of crackers with non-traditional vegetable raw materials]. *Molodyi vchenyi* [Young scientist], no 2 (42), pp.220–224.
2. Zavadynska, O. Yu. (2016). *Tekhnolohiia boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv ozdorovchoho pryznachennia* [Flour confectionery technology for health purposes]. *Traektoryia nauky www.pathofscience.org. Elektronnyi nauchnyi zhurnal* [Science Trajectory www.pathofscience.org. Electronic scientific journal]. *Razdel «Proyzvodstvo y tekhnolohyyu»* [Production and Technology Section], no. 4 (9), pp. 3.1–3.5.
3. Bachynska, Ya. (2017). *Vykorystannia netradytsiinoi syrovyny pry vyrobnytstvi boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv yak prohresyvnyi napriamok stvorennia produktiv pidvyshchenoi biolohichnoi tsinnosti* [The use of unconventional raw materials in the production of flour confectionery as a progressive direction of creation of products of high biological value]. *Traektoryia nauky www.pathofscience.org. Elektronnyi nauchnyi zhurnal* [Science Trajectory www.pathofscience.org. Electronic scientific journal]. *Razdel «Tekhnika»* [Section “Technics”], vol. 3, no. 2. pp. 7.1–7.10.
4. Kravchenko, M. F., Yaroshenko, N. Yu. (2017). *Doslidzhennia vplyvu vmistu roslynnykh dobavok na pokaznyky yakosti prianykiv* [The study of very fast propagation is added to the constants of its direct lines]. *Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], no 5/11 (89), pp. 45–54.
5. Lozova, T. M., Kovalchuk, Kh. I. (2009). *Doslidzhennia antyoksydantnoi aktyvnosti pryrodnykh dobavok* [Investigation of the antioxidant activity of natural additives]. *Visnyk Lvivskoi komertsiiinoi akademii. Seriiia tovaroznavcha* [Bulletin of the Lviv Commercial Academy. Series Commodity Studies], issue 11, pp. 6–9.
6. Simakova, O., Korenets, Yu., Yudina, T., Nazarenko, I., Goriainova, Iu. (2018). Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, issue 11 (92), pp. 57–64.
7. Korenets, Y., Goriainova, I., Nykyforov, R., Nazarenko, I., Simakova, O. (2017). Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, issue 10 (86), pp. 25–31.
8. Plieva, Z. A., Tsugkiev, B. G. (2012). *Khimicheskii sostav pivnoi drobyiny* [The chemical composition of the beer grains]. *Izvestiia FGOU VPO «Gorskiy gosudarstvennyi agrarniy universitet»* [News FGOU VPO «Gorsky State Agrarian University»], iss. 49, part 4, pp. 376–379.

9. Plieva, Z. A., Khoziev, A. M. (2014). *Mineralnyi sostav pivnoi drobinny* [The mineral composition of the beer grains]. *Izvestiia FGOU VPO «Gorskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet»* [News FGOU VPO «Gorsky State Agrarian University»], iss. 51, part 4, pp. 331–333.

10. Drobot, V. I. (2015). *Tekhnokhimichniy kontrol syrovyny ta khlibobulochnykh i makaronnykh vyrobiv* [Technochemical control of raw materials and bakery and pasta]. Kiev, Kondor Publ., 972 p.

Objective. *The study of the effect of beer pellet additives on the basic baking properties of wheat flour as a major recipe component of bakery products.*

Methods. *Drying of beer pellets additives was carried out at a temperature of 70 °C for 2.5 hours to constant weight of the sample in a drying cabinet SESH-3MK. The determination of the number of falling wheat flour in the presence of the addition of beer pellets was performed using the device PPP-7 in accordance with GOST 27676-88 «Grain and products of ego processing. The method of determining the number of falls. Determination of quantity and quality of raw gluten of wheat flour in the presence of beer crumbs on the gluten deformation meter — IDK-3 mini «PLAUN — systems» according to GOST 27839-88 «Wheat flour. Methods for determining the quantity and quality of gluten ». The whiteness of wheat flour in the presence of the addition of beer pellets was determined on the device VBB-1MK.*

Results. *The possibility of using beer grains as an additive to wheat flour in bakery technology has been experimentally proved. It is established that the addition of beer pellets in the amount of 10–30 % by weight of wheat flour reduces the number of falls by 3–11 % compared with the control sample (wheat flour of the highest grade without additives). This indicates the effect of the enzymes of the additive of brewery on starch, the increase in the autolytic activity of the composite mixture. The addition of beer crumbs weakens gluten, making it darker in color. The results obtained indicate the feasibility of using such composite mixtures in the production of various flour confectionery.*

In general, it has been proved that the addition of beer pellets (up to 20 %) as a powder does not impair the baking properties of wheat flour.

Key words: *beer pellet, wheat flour, drop number, gluten, flour white.*

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

Коренець Ю. М., старший викладач¹

Копайгора О. К., асистент¹

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

МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АЛГОРИТМИ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

UDC 004.032.26.664.6

Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering sciences, Professor¹

Korenets Yu. M., Senior Lecturer¹

Kopayhora O. K., Assistant Professor¹

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

IDENTIFICATION METHODS AND ALGORITHMS OF ADAPTIVE SYSTEMS FOR DIRECT DIGITAL CONTROL OF FOOD PRODUCTION

Мета — розроблення методів ідентифікації та алгоритмів адаптивного керування складними динамічними об'єктами виробництва продукції харчування з лікувально-профілактичними властивостями для регіонів з техногенним навантаженням.

Методи. Під час проведення дослідження використано методи теорії ідентифікації систем (для вибору обґрунтування структури математичної моделі об'єкта керування), а також в основу досліджень покладені методи аналітичного конструювання оптимальних адаптивних регуляторів та обґрунтування принципів ідентифікації об'єктів з використанням методу максимального ступеня стійкості, а також розроблення алгоритмів оптимального керування виробництвом продукції харчування, методи нелінійної динаміки для визначення характеристик керованих процесів, методи імітаційного моделювання із застосуванням програмного забезпечення, розробленого в середовищі MATLAB для визначення ефективності запропонованих способів керування виробництвом хлібобулочних виробів.

Результати. Теоретично доведено, що ідентифікація процесів виробництва хліба здійснюється шляхом визначення режимів роботи керованого процесу та розмірності його стану, на основі чого за допомогою методів оптимізації немінімальнофазових об'єктів харчової промисловості визначаються структура та параметри моделі процесу, що дає змогу побудувати алгоритми адаптації, які пристосовуються до змін параметрів об'єкта. Розроблено адаптивні системи оптимального керування процесами виробництва хлібобулочних виробів, що дозволяє підвищити якість керування цими процесами в разі зміни їх параметрів і режимів роботи, збуреного середовища та цілей керування. Розроблені алгоритми реалізовані за допомогою сучасних мікропроцесорних систем, які працюють як ідентифікатори і забезпечують автоматично квазіоптимальне налагодження систем керування технологічними стадіями виробництва продуктів харчування. Встановлено, що оптимальні показники якості регулювання під час виробництва хліба досягаються за допомогою адаптивних цифрових регуляторів, а саме: при використанні адаптивних цифрових регуляторів у системі керування стадіями виробництва заморожених сортів хліба, дисперсія регульованого параметра знизилась в 2,1 разів, а час перехідного процесу зменшиться на 25 % порівняно з ПІД-регулюванням.

Ключові слова: ідентифікація, алгоритми керування, адаптація, адаптивні системи, керування виробництвом, хлібобулочні вироби.

Надійшла до редакції 10.04.2019 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець, О. К. Копайгора, 2020

Постановка проблеми. Упровадження сучасних автоматизованих цифрових систем керування складними технологічними процесами виробництва з борошна екологічно чистих продуктів харчування з лікувально-профілактичними властивостями неможливо без розроблення принципів й алгоритмів та керованих пристроїв, які мають властивість адаптуватись до змін параметрів об'єкта [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій вітчизняних учених І. С. Гулий, І. В. Ельперина, В. Д. Кишенько, В. Г. Мирончука, М. М. Пушанко, В. М. Хроменкова, С. С. Шаруди, С. М. Швед та ін. свідчить про те, що технологічні процеси виробництва хлібобулочних виробів належать до складних, динамічних об'єктів з нестационарними параметрами, нелінійними залежностями і стохастичними змінними, що мають транспортні запізнювання, різні режими роботи і чутливі до якості вхідної сировини — борошна. Для керування процесами виробництва хлібобулочних виробів стали поширеними системи, що використовують або динамічні моделі керованих процесів з адаптацією параметрів, або статичну оптимізацію. Такі системи в умовах варіації збурень (якості борошна) і змінних режимів роботи обладнання не можуть забезпечити ефективного керування нелінійними процесами виробництва продукції [2,3,4,5]. Крім того, нестационарність і стохастичність керованих процесів потребує розроблення адаптивних систем керування, які ефективні в умовах збурень сировини, а продукція харчування повинна відповідати заданій якості та запитам споживачів [5].

Мета статті — розроблення методів ідентифікації та алгоритмів керування складними динамічними об'єктами виробництва продукції харчування з лікувально-профілактичними властивостями. Задля досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

— теоретично обґрунтувати принципи оптимального керування нелінійними процесами виробництва хлібобулочних виробів та визначити методи ідентифікації та адаптації об'єктів керування;

— розробити адаптивні цифрові системи керування виробництвом хлібобулочних виробів за методом максимального ступеня стійкості.

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 1 показано блок-схему керування типовим об'єктом виробництва хлібобулочних виробів. Об'єкт у загальному вигляді опишемо виразом виду

$$W_{об} = \frac{K_{об} * e^{-\tau p}}{1 + \tau p}.$$

Керувати об'єктом будемо за допомогою пропорційно-інтегрального регулятора з введенням у закон регулювання інтеграла:

$$U_{PI}(t) = K_P [E(t) + K_I \int_0^t E(t) dt], \quad (1)$$

а також пропорційного регулятора з введенням у закон регулювання інтеграла і похідної від регульованої величини (ПІД-регулятор):

$$U_{PID}(t) = K_n [E(t) + K_I \int_0^t E(t) dt + K_D E(t)], \quad (2)$$

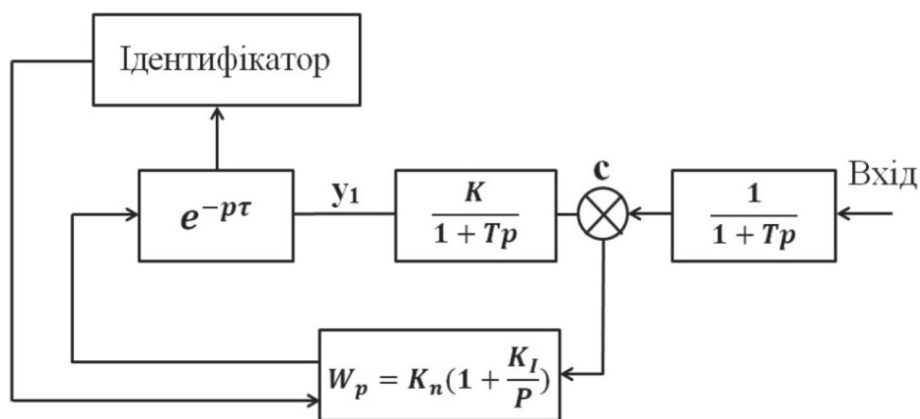


Рисунок 1 — Блок-схема керування об'єктом переробки борошна в хлібобулочні вироби

де $E(t) = Y_z(t) - Y(t)$; $Y(t)$ — вихідна змінна об'єкта керування; $Y_z(t)$ — завдання на регулятор; $U(t)$ — вихідна змінна регулятора; K_n, K_I, K_D налагоджувальні параметри регулятора.

У цій системі активна ідентифікація характеристик виконується шляхом періодичного додавання ідентифікованого впливу ΔU до управлінського впливу $U_{PI}(t), U_{PID}(t)$. Частота подання ідентифікованого впливу визначається динамічними параметрами системи. До моменту надходження наступного ідентифікованого впливу повинен повністю закінчитися перехідний процес від попереднього, не виходячи із зони допустимих відхилень. Що менша ймовірність можливих змін параметрів об'єкта, то рідше проводиться ідентифікація. З метою одержання математичних моделей параметрів об'єкта, розглянемо детально рис. 2.

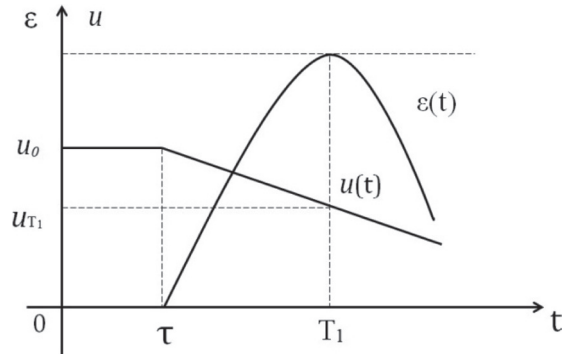


Рисунок 2 — Залежність змінних ε, u від часу t

У процесі ідентифікації визначається час, коли досягається максимальне значення функції $Y(t)$. Цей час визначає величину запізнення τ . Позначимо A_1 значення $Y(t)$, яке відповідає цьому часу. Час досягнення максимального значення $Y(t)$ функцією позначимо через T_1 . Одночасно будемо фіксувати значення управлінського впливу в момент часу, який передре моменту T_1 на стає значення τ .

Використовуючи результати аналізу функцій $Y(t), Y'(t), U(t)$, виконаємо розрахунок параметрів об'єкта за формулою:

$$K_o = \frac{Y_D}{U(T_1 - \tau)}, T = \frac{K_o \Delta U}{A_1}, \quad (3)$$

де ΔU — ідентифікуючий вплив, який додано до управляючого впливу. На основі обчислених параметрів об'єкта стає можливим синтез оптимальної системи управління за критерієм максимального ступеня стійкості. Він має максимальну швидкість дії за аперіодичного характеру перехідного процесу.

Для системи регулювання об'єктом вигляду $W = K_o \exp(-\tau p)(1 + Tp)^{-1}$ з використанням ПІ-регулятора оптимальні за критерієм максимального ступеня стійкості налагоджувальні параметри регулятора будемо визначати за формулою:

$$K_{PI} = A(\alpha\tau - 2)(\tau K_o)^{-1} \quad ; \quad K_I = A[(2(\alpha\tau - 3)(\tau)^{-1} - (\alpha\tau - 2)\lambda_{PI}][\tau K_o]^{-1} \quad ,$$

де

$$\lambda_{PI} = \sqrt{8T^2 + \tau^2} - (4T + \tau)(2T\lambda)^{-1}, \quad A_M = T e^{\lambda_{PI}\tau}, \quad \alpha = \sqrt{8T^2 + \tau^2}(\tau T)^{-1}. \quad (4)$$

Під час використання ПІД-регулятора його оптимальні налагоджувальні параметри розраховують за формулами:

$$K_{PI} = A[(2 - \alpha\tau)\lambda_{PID} + 2(\alpha\tau - 3)\tau^{-1}]K_{OB}^{-1};$$

$$K_I = A[0,5(\alpha\tau - 2)\lambda_{PID}^2 - 2(\alpha\tau - 3)\lambda_{PID}\tau^{-1} + 3(\alpha\tau - 4)\tau^{-2}]K_{OB}^{-1};$$

$$K_D = A(\alpha\tau - 2)K_{OB}^{-1},$$

де

$$\lambda_{PID} = \frac{(12T^2 + \tau^2)^{0,5} - (6T + \tau)}{2\tau T}, \quad A = T \exp \lambda_{PID} \tau, \quad \alpha = (12T^2 + \tau)^{0,5}(\tau T)^{-1}. \quad (5)$$

Розглянемо детально роботу адаптивного керування з активною ідентифікацією. Широке використання мікропроцесорів (МП) на підприємствах харчової промисловос-

Первинне згладжування, оцінювання похідної і відпрацювання ПІ-керування виконуються в кожному такті роботи алгоритму. Аналіз траєкторії, ідентифікація і перерахунок коефіцієнтів здійснюються відповідно до внутрішньої логіки алгоритму. Розроблений алгоритм адаптації з активною ідентифікацією використано в способах і системах керування технологічними операціями виробництва хліба, а саме стадіями опара — тісто — випікання [2, 3, 4, 5]. Його випробовування в умовах виробництва хлібобулочних виробів підтвердило високу ефективність систем керування процесами підготовки стадій опара — тісто, випікання.

У системах керування процесами виробництва продуктів харчування широке розповсюдження на криворізьких хлібозаводах та інших підприємствах одержали системи стабілізації параметрів завантаження, густини тіста, витрат води, газу та електрики. Точність таких систем щодо вихідних показників становить 7–10 %, а відповідно не забезпечує заданої якості продукції, яка надходить споживачам. Тому виникає завдання щодо розроблення цифрових адаптивних алгоритмів стабілізації вихідних параметрів об'єкта переробки сировини (борошна) в продукцію з лікувально-профілактичними властивостями.

Ці алгоритми реалізуються за допомогою сучасних мікропроцесорних систем (МП), які працюють як ідентифікатори і забезпечують автоматичне квазіоптимальне налагодження систем. Передавальну функцію системи керування стабілізації регульовального параметра (густини тіста) можна записати у вигляді рівняння:

$$W_{сис\tau\tau}(P) = \frac{W_{pez}(P) * W_{об}(p)}{W_{pez}(P) * W_{об}(P) + 1} \quad (6)$$

При цьому об'єкт регулювання опишемо так:

$$W_{об}(P) = \frac{K_D E^{-p\tau}}{T_P + 1} = \frac{E^{-p\tau}}{\frac{T}{K_0} * p + 1 / K_0} = \frac{E^{-p\tau}}{a_1 p + a_0}, \quad (7)$$

де $a_1 = T/K_0$, $a_0 = 1/K_0$ — коефіцієнти.

Після підстановки в рівняння (6) виразу (7) одержимо:

$$W_{сис\tau\tau}(P) = \frac{(K_{II}(P) + K_I)e^{-\tau p}}{p(a_1 p + a_0) + (K_n p + K_1)e^{-\tau p}} \quad (8)$$

Якщо подати на вхід системи стрибок $q(t)$ передавальну функцію (8) запишемо як:

$$W(p) = \int_0^\infty q(t) e^{-pt} dt = \int_0^\infty q(t) \sum_{i=0}^\infty \frac{(-1)^i}{i!} p^i (t)^i dt = \sum_{i=0}^\infty (-1)^i p^i \int_0^\infty a(t) t^i \frac{1}{i!} dt = \sum_{i=0}^\infty (-1)^i p^i \mu_i \quad (9),$$

де $\mu_i = \int_0^\infty q(t) \frac{t^i}{i!} dt$ — момент функції.

Ряд у виразі (8) одержано в результаті розкладу e^{-pt} у ряд $\sum_{i=0}^\infty \frac{(-1)^i (p\tau)^i}{i!}$ та зміною порядку операції підсумовування та інтегрування, що допустимо внаслідок розмірної збіжності степеневого ряду. Порівняємо вирази (9) та (8), а також замінюючи e^{-pt} рядом, дістанемо:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^\infty (-1)^i p^i \mu_i [a_i p^2 + a_1 p + (K_{II} p + K_I) \sum_{j=0}^\infty \frac{(-1)^j}{j!} \tau^j p^j] = \\ & = (K_{II} p + K_I) \sum_{k=0}^\infty \frac{(-1)^k}{k!} \tau^k p^k. \end{aligned} \quad (10)$$

Порівнюючи в лівій і правій частинах коефіцієнти при одних і тих самих ступенях p , одержимо систему рівняння вигляду:

$$\mu_0 a_0 + \mu_0 k_{II} + K_I \mu_1 (-1)^1 + \mu_0 K_1 (-1)^1 \tau = K_{II} + K_I (-1)^1 \tau \quad (11)$$

для першого ступеня p ;

$$\begin{aligned} \mu_0 a_1 + (-1)^1 \mu_1 a_0 + (-1)^1 \mu_1 K_{II} + \mu_0 K_{II} (-1)^1 \tau + K_I \mu_2 + \mu_1 \tau K_I + \frac{1}{2} \mu_0 K_I \tau^2 = \\ = (-1)^1 \tau K_{II} + \frac{k_I}{2} \tau^2 \end{aligned} \quad (12)$$

для другого ступеня p ;

$$\begin{aligned} (-1)^2 \mu_1 a_1 + (-1)^2 \mu_2 a_0 + (-1)^1 \mu_1 K_{II} \tau + \mu_2 K_{II} \tau + \frac{1}{2} \mu_0 K_{II} \tau^2 + (-1)^2 K_I \mu_3 + (-1)^2 \mu_2 \tau K_I + \\ + (-1)^2 \mu_2 K_I (-1) \tau + (-1)^1 \mu_1 K_I \frac{1}{2} \tau^2 + \frac{1}{6} \mu_0 K_I \tau^3 = \frac{1}{2} K_{II} \tau^2 + \frac{1}{6} K_I (-1)^3 \tau^3 \end{aligned} \quad (13)$$

для третього ступеня p .

Обчислюємо рівняння (13) стосовно a_1 і дістаємо:

$$a_0 = \mu_1 K_{II} K_I + K_I \tau + \frac{K_{II}}{\mu_0} - \frac{K_I \tau}{\mu_0} \quad (14)$$

Розраховуючи рівняння (14) стосовно a_1 і підставив замість a_0 його значення та одержимо квадратичне рівняння вигляду:

$$\begin{aligned} a_1 = \frac{\mu_1}{\mu_0} (\mu_1 K_{II} K_I + K_I \tau + \frac{K_{II}}{\mu_0} - \frac{K_I \tau}{\mu_0}) + K_{II} \tau + \frac{\mu_1}{\mu_0} K_{II} - \\ - \frac{1}{2} K_I \tau^2 - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \tau - \frac{\mu_2}{\mu_0} K_I - \frac{K_{II}}{\mu_0} \tau + \frac{1}{2\mu_0} K_I \tau^2. \end{aligned} \quad (15)$$

Підставляючи a_0 і a_1 в рівняння (15), отримуємо кубічне рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{\mu_1}{\mu_0} K_{II} \tau - \frac{\mu_1^2}{\mu_0^2} K_{II} \tau + 2\mu_1 K_{II} \tau - \frac{\mu_1^2}{\mu_0} K_{II} \tau - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \tau + \mu_2 K_{II} \tau - \frac{\mu_2}{\mu_0} K_I \tau - \mu_2 K_I \tau - \\ - \frac{1}{2} \mu_1 K_{II} \tau^2 + \frac{1\mu_1}{2\mu_0} K_I \tau^2 + \frac{1}{2} \mu_0 K_I \tau^2 + \frac{1}{6} \mu_0 K_I \tau^3 + \frac{1}{6} K_I \tau^3 + \frac{\mu_1}{\mu_0} K_{II} K_I + \frac{\mu_1^2}{\mu_0} K_I + \\ + \frac{\mu_1^2}{\mu_0} K_{II} - \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_0} K_I + \mu_1 \mu_2 \tau^3 + \frac{\mu_1}{\mu_0} K_{II} K_I + \frac{\mu_1^2}{\mu_0} K_{II} + \frac{\mu_1^2}{\mu_0} K_{II} - \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_0} K_I + \\ + \mu_1 \mu_2 K_{II} K_I + \frac{\mu_2}{\mu_0} K_{II} + \mu_0 K_{II} + \mu_3 K_I = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

За умовою ідентифікації процесу виробництва хлібобулочних виробів межі знаходження кореня $\tau_{\min} \leq \tau < \tau_{\max}$, отже, ці рівняння легко обчислюються методом Бісекції (золотого перетину) [6]. Знайдений корінь τ^* буде значенням часу запізнення. Після цього, підставляючи τ_1^* у рівняння (14, 15), одержимо значення a_0^* і a_1^* відповідно.

У системі як блока ідентифікації використано МП, який виконує такі функції:

1. Видає сигнал щодо введення сигналу в систему керування (фіксує момент подачі стрибка).
2. Вводить у пам'ять значення імпульсної перехідної функції в момент t .
3. Обчислює моменти за формулою:

$$\mu_i = \sum_{j=0}^N q(t_j) t_j^i \frac{1}{i!} (t_j - t_{j-1}). \quad (17)$$

4. Обчислює рівняння (16) методом Бісекції.

5. Визначає τ^* , a_0^* , a_1^* .

6. Перераховує K_0 , T .

7. За методом максимального ступеня стійкості коригує коефіцієнти K_{II} і K_I . Блок-схему обчислення кореня τ^* у рівнянні (16), за умови, що корінь знаходиться в межах $\tau_{\min} \leq \tau < \tau_{\max}$, а потрібна точність визначається числом δ , подано на рис. 4. У розробленій схемі керування виробництвом опари, якість опари та борошна контролюється цифровими датчиками 5, 6. Ці сигнали із цифрових датчиків 1, 2, 5, 6 надходять на пристрій введення МП-7.

На рис. 5 показано блок-схему керування виробництвом опари [5].

Мікропроцесор, виконуючи вищезазначені функції алгоритму керування, переналагоджує коефіцієнти K_{II} і K_I , ПІ-регулятора, який керує системою завантаження тістомісильної машини (блоки 4, 8, 9, 10).

Об'єкт керування за каналом «витрати води в лінію переробка борошна — густина тіста» опишемо рівнянням другого порядку з запізненням:

$$W_{об}(p) = \frac{e^{-p\tau}}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0} \quad (18)$$

Тоді

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i p^i \mu_i [a_2 p^3 + a_1 p^2 + a_0 p + (K_{II} p + K_I)] * \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(-1)^j}{j!} \tau^j p^j = \\ & = (K_{II} p + K_I) * \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!} \tau^k p^k \end{aligned} \quad (19)$$

Використовуючи метод, наведений вище, за однакових ступенів одержимо систему рівнянь вигляду:

$$\mu_0 a_0 + \mu_0 K_{II} - \mu_0 K_{II} \tau - \mu_1 K_I = K_{II} - K_I \tau; \quad (20)$$

$$\mu_0 a_1 - \mu_1 a_1 - \mu_1 K_{II} - \mu_0 K_{II} \tau + \mu_2 K_I + \mu_1 K_I \tau + \frac{1}{2} K_I \tau^2 = -\tau K_{II} + \frac{1}{2} K_I \tau^2; \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & \mu_0 a_2 - \mu_1 a_1 - \mu_2 a_2 + \frac{1}{2} \mu_0 K_{II} \tau^2 + \mu_1 K_{II} \tau + \mu_2 K_{II} - \frac{1}{6} \mu_0 K_I \tau^3 - \frac{1}{2} \mu_0 K_I \tau^3 - \\ & - \frac{1}{2} \mu_1 K_I \tau^2 - \mu_2 K_I \tau - \mu_3 K_I = \frac{1}{2} K_I \tau^2 - \frac{1}{6} K_I \tau^3 \end{aligned} \quad (22)$$

Обчислюючи ці рівняння і підставляючи значення a_0 , a_1 , a_2 , одержимо рівняння четвертого ступеня:

$$a_0 = \frac{K_{II}}{\mu_0} - \frac{K_I \tau}{\mu_0} - K_{II} - K_I \tau - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I; \quad (23)$$

$$\begin{aligned} a_1 = \mu_1 \left(\frac{K_{II}}{\mu_1} - \frac{K_I}{\mu_0} \tau - K_{II} + K_I \tau - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \right) + \frac{\mu_1}{\mu_0} K_{II} + K_{II} \tau - \frac{\mu_2}{\mu_0} K_I - \\ - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \tau - \frac{1}{2} K_I \tau^2 - \tau \frac{K_{II}}{\mu_0} + \frac{1}{2} \mu_0 K_I \tau^2 \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} a_2 = \frac{\mu_1}{\mu_0} \left[\mu_1 \left(\frac{K_{II}}{\mu_0} - \frac{K_I}{\mu_0} \tau - K_{II} + K_{II} \tau - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \right) + K_{II} \tau - \frac{\mu_2}{\mu_0} K_{II} - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \tau - \frac{1}{2} K_I \tau^2 - \right. \\ \left. - \tau \frac{K_{II}}{\mu_0} + \frac{1}{2} \mu_0 K_{II} \tau^2 \right] + \frac{\mu_2}{\mu_0} \left[\frac{K_{II}}{\mu_0} - \frac{K_I}{\mu_0} \tau - K_{II} + K_{II} \tau - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \right] - \frac{1}{2} K_I \tau^2 - \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \tau - \\ - \frac{\mu_2}{\mu_0} K_{II} + \frac{1}{6} K_{II} \tau^3 + \frac{1}{2} \frac{\mu_1}{\mu_0} K_I \tau^2 + \frac{\mu_2}{\mu_0} K_I \tau + \frac{\mu_3}{\mu_0} K_{II} - \frac{1}{2} \mu_0 K_{II} \tau^3 - \frac{1}{6} K_I \tau^3 \end{aligned} \quad (25)$$

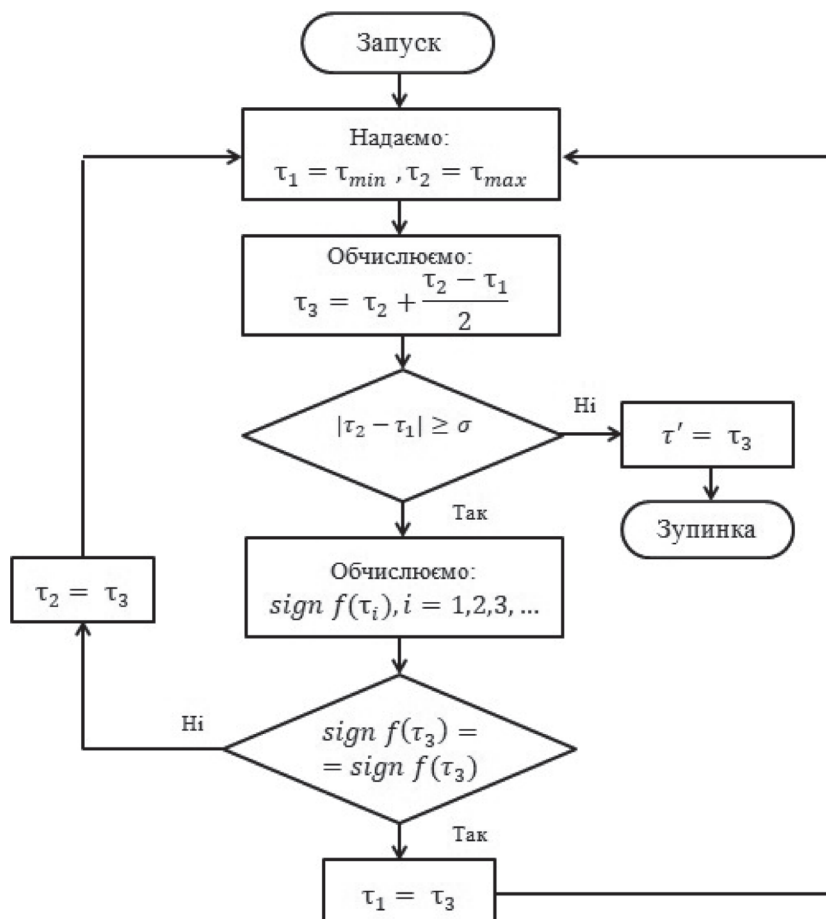


Рисунок 4 — Блок-схема розрахунку кореня
Шнековий давальник

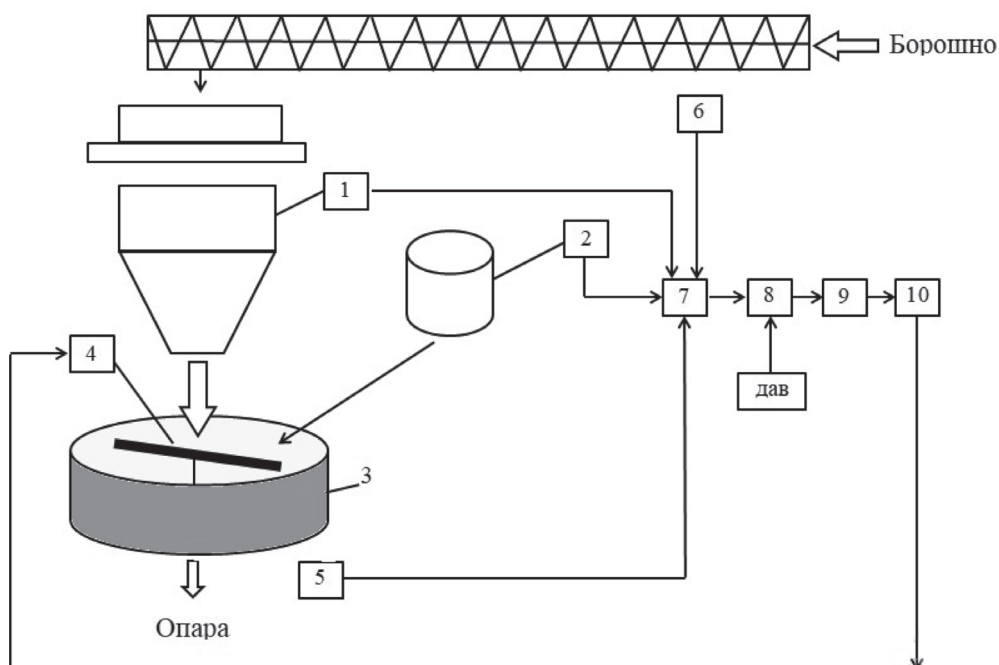


Рисунок 5 — Блок схема керування процесом виробництва опари:
1 — автоборошновимірювальний пристрій; 2 — автоматичний водовимірювальний пристрій; 3 — тістомісильна машина; 4 — двигун мішалки; 5 — датчик якості опари; 6 — датчик якості борошна; 7 — МП; блоки 8, 9, 10 — система завантаження тістомісильної машини 3.

$$\begin{aligned} & \frac{\mu_1}{\mu_2} K_{II} \left(\frac{\mu_4 \mu_0}{\mu_1} - \frac{\mu_2^2}{\mu_1} - \mu_2 \mu_1 - 2\mu_3 - \frac{\mu_1^3}{\mu_0} \right) + \mu_1 \frac{\mu_1}{\mu_0^2} K * [(2\mu_0 - 1 - \mu_0^2)] + \\ & + \frac{K_{II}}{\mu_0} [(-\mu_3 - \mu_1^3) + \frac{1}{\mu_0}] + \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_0} K_I \tau \left(\frac{1}{\mu_0} (1 + \frac{\mu_1^2}{\mu_2}) - 4 + \mu_0 + \frac{\mu_3}{\mu_1 \mu_2} \right) + \frac{K_{II} \tau}{\mu_0^2 (\mu_1^2 - \mu_2 \mu_0)} + \\ & + \frac{\tau^2}{2\mu_0 (\mu_2 K_{II} - \frac{\mu_1^2}{\mu_0} K_I + \mu_1 K)} + \frac{\mu_1}{6 K_I \tau^3} * \left(\frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_0} - 1 \right) + \frac{1}{6} K_{II} \tau^3 (1 - \mu_0) - \frac{\tau^4}{24} (\mu_0 - K_U) = 0. \quad (26) \end{aligned}$$

Рівняння (26) також будемо обчислювати методом Бісекції, а визначений корінь τ_2^* буде відповідати значенню часу запізнення τ . Підставляючи τ_2^* у рівняння (20), (21), (22) одержимо параметри a_0, a_1, a_2 .

Блок-схему адаптивної цифрової системи керування тістомісильного відділення (технологічні апарати 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) подано на рис. 6.

Ця система працює в циклі з робототехнологічним комплексом виробництва тістових напівфабрикатів 8 та робототехнічної системи заморожування 9 хліба 10. Якість бо-

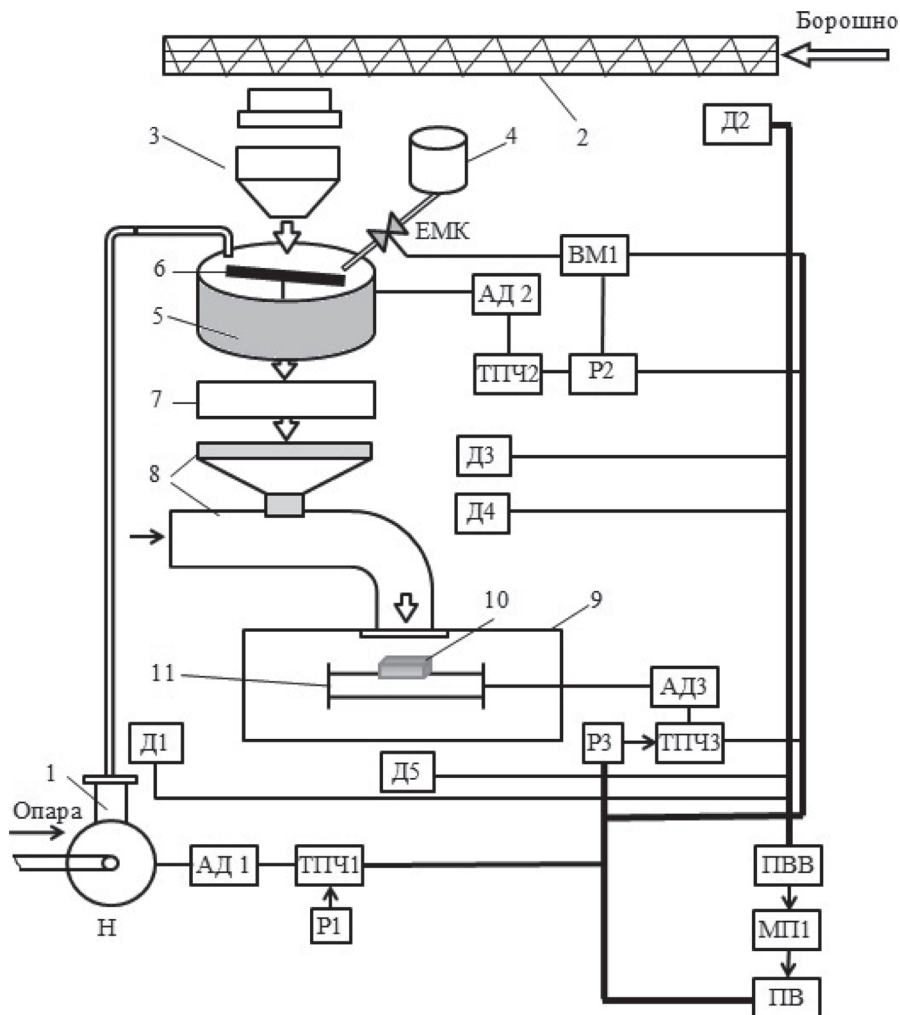


Рисунок 6 — Адаптивна цифрова система керування тістомісильним відділенням:

- 1 — насос з електроприводом АД1–ТПЧ1; 2 — шнековий давач борошна; 3 — автоборошнівимірювальний пристрій; 4 — автоматичний водовимірювальний бачок; 5 — тістомісильна машина; 6 — мішалка з електроприводом АД2 — ТПЧ2; 7 — п’ятисекційний бункер;
- 8 — робототехнологічний комплекс виробництва; 9 — холодильна камера; 10 — хліб; 11 — конвейер з електроприводом АД3–ТПЧ3

рошна та опари в системі керування вимірюється інтелектуальним датчиком Д1, склад тіста (запах) — датчиком Д2. Цифрові сигнали з інтелектуальних датчиків Д1, Д2, Д3, Д4, надходять на пристрій введення (ПВВ) МП 1, який у подальшому розраховує коефіцієнти a_0, a_1, a_2 , а також чинники K_0, T . За методом максимального ступеня стійкості МП розраховує також коефіцієнти K_n і K_r ПІ-регуляторів Р1, Р2. Регулятор Р1 відпрацьовує сигнал керування, який за допомогою тристороннього перетворювача ТПЧ1 і двигуна АД1 змінює продуктивність агрегата Н щодо транспортування опари в тістомісильну машину 5. Система адаптивного керування мішалкою 6 з регулятором Р2 та виконавчими механізмами ВМ1, ТПЧ2, АД2 керує продуктивністю апаратів 5 та 7.

Така система цифрового керування комплексу дає можливість збільшити продуктивність стадії випікання хліба на 6–7% [5]. За останні п'ять років у процесі виконання портфеля замовлень ОПР та топменеджери хлібозаводів, які працюють на стадії заморожування хліба, стикаються з високими вимогами споживачів до їх продукції. В цьому випадку виникає необхідність розроблення цифрових алгоритмів управління процесом виробництва заморожених сортів хліба з контролем вхідних і вихідних змінних за допомогою інтелектуальних датчиків Д3, Д4, Д5.

Нехай за інформацією інтелектуальних датчиків на хлібозаводах контролюються вхідні $x(t)$ і вихідні $y(t)$ чинники. Роботу тістомісильних агрегатів будемо контролювати за такими каналами: а) сила борошна та якість інгредієнтів і закваски [5]; б) відсотковий вміст густини тіста та його запах у зливні тістомісильної машини; в) питома вага борошна і питома вага опари в стадіях виробництва тіста. Динаміку цих агрегатів опишемо лінійним диференціальним рівнянням вигляду:

$$\sum_{i=0}^n a_i y^i(t) = x(t - \tau), \quad (27)$$

де $x(t)$ та $y(t)$ — вхідний та вихідний сигнали об'єкта досліджень; a_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$), τ — квазістаціонарні параметри об'єкта, при цьому a_i — параметри ідентифікації [1, 6]. Параметри a_i , τ приймають значення із діапазону

$$a_{i \min} \leq a_i \leq a_{i \max}, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad 0 \leq \tau \leq \tau_{\max}. \quad (28)$$

За сигналами $x(t)$ та $y(t)$, які можна вимірювати, необхідно визначити поточні значення параметрів a_i, τ ($i = 0, 1, \dots, n$). Для об'єкта, який працює в замкненому контурі з регулятором, коли вхідний сигнал має достатньо широкий частотний спектр (має безперервну спектральну щільність), пропонується такий спосіб пасивної ідентифікації. Вхідний і вихідний сигнали об'єкта пропускають через ряд лінійних фільтрів $N = n + 2$ порядку $K \gg N$ з передавальними функціями $W_i(p)$.

Вважатимемо, що $L^{-1}[W_i(p)]$ лінійно незалежні, де $L^{-1}[1, 6]$ — означає зворотне перетворення Лапласа. Тоді запишемо:

$$L^{-1}[W_L(p)] \neq \sum_{J=1}^N C_J L^{-2}[W_J(p)], \quad i \neq j. \quad (29)$$

У результаті такої операції одержимо матрицю $y(t)$ і вектор $\bar{X}(t - \theta)$

$$y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t), & \dot{y}_1(t), & \dots, & y_1^{(n-1)}(t) \\ y_2(t), & \dot{y}_2(t), & \dots, & y_2^{(n-2)}(t) \\ \dots & \dots & \dots, & \dots \\ y_{n+2}^1(t), & y_{n+2}^2(t), & \dots, & y_{n+2}^{(n+2)}(t) \end{bmatrix}, \quad (30)$$

$$\text{де} \quad \bar{X}(t - \theta) = (x_1(t - \theta), \dots, x_N(t - \theta)), \quad (31)$$

$$y'(t) = L^{-1}[p^i W_i(p)y(p)], \quad 0 < \theta < \tau_{\max};$$

$$x_j(t) = L^{-1}[W_j(p)x(p)], \quad i = 0, \dots, n, \quad j = 1, \dots, (n+2),$$

тут $x(p)$, $y(p)$ — зображення за Лапласом вхідного і вихідного сигналів об'єкта, який будемо описувати рівнянням вигляду (27). Доведемо, що одержані таким чином сигнали підкорюються системі тотожностей.

$$\sum_{i=0}^n a_i y_i^{(i)}(t) = x_i(t - \theta), \quad j = 1, \dots, N \quad (32)$$

за умови, що

$$\theta = \tau. \quad (33)$$

Дійсно, якщо в рівнянні (27) перейти в частотну область, що допустимо внаслідок квазістаціонарності параметрів $a(i=0, \dots, n)$, τ , та помноживши дві частини на $W_j(p)$, одержимо з врахуванням (33) значення:

$$a_i w_j(p) * p^i y(p) = w_j(p) X(p) e^{-\theta p}. \quad (34)$$

Якщо перейти у виразі (34) у частотну область і врахувати вираз (31), одержимо систему рівностей (32). Тому сигнали $y_j^i(t)$, $X_j(t - \theta)$ будемо використовувати для визначення a_i , τ , $i = 0, \dots, n$. З цією метою введемо вектори

$$\begin{aligned} \bar{b}(t, \theta) &= (b_0(t, \theta), \dots, b_n(t, \theta)); \\ \bar{c}(t, \theta) &= (c_1(t, \theta), \dots, c_n(t, \theta)), \end{aligned} \quad (35)$$

Які будемо визначати із співвідношень:

$$b^{-T}(t, \theta) = Y^{-1}(t), \quad G^{-T}(t - \theta), \quad (36)$$

де

$$\bar{G}(t - \theta) = (X_1(t - \theta), \dots, X_{n+1}(t - \theta)); \quad (37)$$

$$Y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t), & y_1'(t), & \dots, & y_1^{(m)}(t) \\ y_i(t), & y_i^i(t), & \dots, & y_i^n(t) \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ y_n(t), & y_{n+1}^i(t), & \dots, & y_{n+1}^n(t) \end{bmatrix}; \quad (38)$$

$$c^{-T}(t, \theta) = b^{-T}(t, \theta) - X^{-T}(t - \theta). \quad (39)$$

За виконання умови (29) $\text{rank } Y(t) \geq n + 1$, а тому $Y^{-1}(t)$ існує. Як впливає з виразів (36)–(39) $(n + 1)$ компонента вектора $\bar{c}(t, \theta)$ тотожність, яка дорівнює нулю, а в той же час $(n + 2)$ компонента в загальному випадку відрізняється від нуля. Як слідує з порівнянь виразів (32) і (36) у момент, коли виконується умова (38) $c_{n+2}(t, \theta)$ компоненти вектора $\bar{c}(t, \theta)$ обнуляються. При цьому виконується умова:

$$b_j(t_1, \theta) = a_j, \quad j = 0, \dots, n. \quad (40)$$

Тому оцінки поточних значень параметрів об'єкта можливо одержати із співвідношень (36). Запропонований алгоритм можливо реалізувати на базі МП. Розглянемо приклад використання алгоритму керування в системі автоматичного регулювання процесом заморожування напівфабрикатів хліба [7]. Блок-схему такої системи показано на рис. 6. У цій системі якісний склад борошна та інгредієнтів контролюється датчиками Д2, Д3, Д4 витрати води автоматичним витратоміром 4. Сигнали з цих інтелектуальних датчиків і блока завдання через ПВВ надходять у МП1.

При цьому за інформацією датчика Д3 виконується реалізація контура адаптивного регулювання, шляхом зміни подавання води в тістомісильну машину. Алгоритм керування працює так. Нехай $T_{кв}$ — інтервал квантування, який визначає дискретність введення і виведення усіх сигналів у МП. Тоді сигнали із датчиків Д2, Д3, Д4, Д5, $x_i^j(t)$, $y_i^j(t)$ вводять у МП у дискретні моменти $kT_{кв}$, $k = 0, 1, 2, \dots, N$. Величина запізнення апроксимується виразом $l * T_{кв}$, де l — набуває цілочислового значення з діапазону:

$$0 \leq l \leq m, \quad (41)$$

де $m = \text{ent}[\frac{\tau_{\max}}{T_{кв}}] + 1$ — фіксоване число.

Введені в МП сигнали утворюють матрицю $Y(kT_{кв})$ та вектор $\bar{y}_{n+2}(kT_{кв})$, $\bar{X}(kT_{кв})$, де

$$\bar{y}_{n+2}(kT_{кв}) = (y_{n+2}(kT_{кв}), y'_{n+2}(kT_{кв}), \dots, y_{n+2}^{(n)}(kT_{кв})) ; \quad (42)$$

$$\bar{x}_e(kT_{кв}) = (x_1(k-e)kT_{кв}, \dots, x_{n-2}(k-l)kT_{кв}),$$

де l — змінюється в межах (41).

У процесі ідентифікації обчислюється вектор $(n+2)$ компоненти вектора $\overline{b(kT_{кв})}$ є дискретними аналогами виразів (36) та (37)

$$\bar{b}(kT_{кв}) = Y^{-1}(kT_{кв})F * e^{-T}(kT_{кв}) ; \quad (43)$$

$$\bar{b}_N(kT_{кв}) = \bar{y}_{n+2}(kT_{кв}) \cdot \bar{b}((kT_{кв}), l) - \bar{x}_e((k-l)T_{кв}) \quad (44)$$

за різних l у межах (41). Потім обчислюється l^* , за якого функція $I(l) = |\bar{b}_N(kT_{кв}, l)|$ досягає максимуму. Запізнення і динамічні параметри оцінюють за формулами:

$$\tau^* = lT_{кв} ; \quad (45)$$

$$\hat{a}_l = b_i(kT_{кв}, l), i = 0, \dots, N . \quad (46)$$

Після реалізації описаного вище алгоритму МП через буферну пам'ять і ПВ впливає на регулятор Р3 та виконавчий механізм холодильної установки 9 конвеєра 11, змінюючи його швидкість за допомогою ТПЧ3 та АД3.

На рис. 7. наведено результати порівняльного дослідження цифрового ПІД-закону керування (крива 1) і регулятора, який реалізує адаптивний алгоритм (крива 2), яке виконане із застосуванням програмного забезпечення, розробленого в середовищі MATLAB.

Із аналізу кривих 1 та 2 випливає, що для САР з адаптивним законом керування час відпрацювання сигналу задавача впливу значно менше (крива 2), ніж у системі з ПІД-цифрового керування (крива 1). При цьому зазначимо, що дисперсія регульовального параметра знизилась у 2,1 разів, а час перехідного процесу зменшився на 25 % порівняно з ПІД-цифровим керуванням.

Висновки. Теоретично доведено, що ідентифікація процесів виробництва хліба здійснюється шляхом визначення режимів роботи керованого процесу та розмірності його стану, на підставі чого за допомогою методів оптимізації немінімальнофазових об'єктів харчової промисловості визначаються структура та параметри моделі процесу, що дає змогу побудувати алгоритми адаптації, які пристосовуються до змін параметрів об'єкта. Розроблено адаптивні системи оптимального керування процесами виробництва хлібобулочних виробів, що дозволяє підвищити якість керування цими процесами в разі зміни їх параметрів і режимів роботи, збуреного середовища та цілей керування. Розроблені алгоритми реалізовані за допомогою сучасних мікропроцесорних систем, які працюють як ідентифікатори і забезпечують автоматично квазіоптимальне налагодження систем керування технологічними стадіями виробництва продуктів харчування. Встановлено, що оптимальні показники якості регулювання під час виробництва хліба досягаються

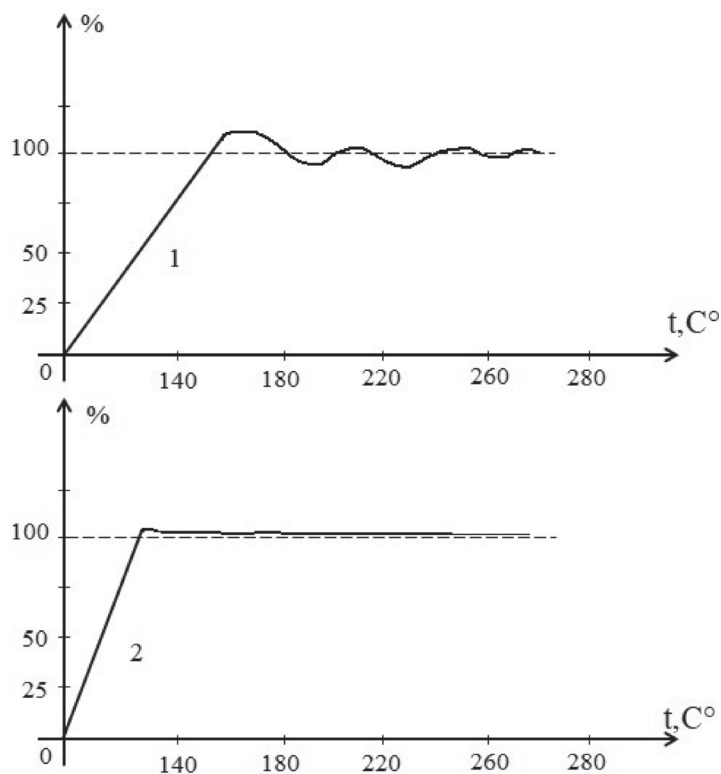


Рисунок 7 — Графіки зміни в часі параметра якості тіста:
1 — ПІД-регулятор; 2 — ПІД-адаптивний регулятор

за допомогою адаптивних цифрових регуляторів, а саме: при використанні адаптивних цифрових регуляторів у системі керування стадіями виробництва заморожених сортів хліба, дисперсія регульовального параметра знизилась у 2,1 разів, а час перехідного процесу зменшиться на 25 % порівняно з ПІД-регулюванням.

Список літератури

1. Гончаренко Б. М., Ладанюк А. П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій : підручник. К. : НУХТ, 2014. 530 с.
2. Мирончук В. Г., Гулій І. С., Пушанко М. М., Орлов Л. О., Українець А. І. та ін. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості. Вінниця : Нова книга, 2007. 640 с.
3. Швед С. М., Ельперін І. В. Системний аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2012. № 613 (60). С. 44–46.
4. Хроменков В. М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик. СПб : ГЦОРД, 2004. 496 с.
5. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Возняк А. В., Омельченко О. В., Заїкіна Д. П., Копайгора О. К., Шеїна А. В. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів / за редакцією професора В. П. Хорольського. Кривий Ріг : Чернявський Д. О. 2019, 204 с.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник в 5-ти т., 2-е изд, перераб. и доп. / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. Т. 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления. М. : МГТУ, 2004. 540 с.
7. Хорольський В. П., Копайгора О. К., Гавришкевич Ю. С., Бойченко А. О. Система оптимального управління енергоспоживанням виробництва хліба. *Вісник ХНУ. Технічні науки*, 2020. №1, С. 239–248.

References

1. Honcharenko B. M., Ladanyuk A. P. *Avtomatyzatsiya vyrobnychykh protsesiv kharchovykh tekhnolohiy* [Automation of food production processes]. Kyev, NUKHT Publ., 2014. 530 p.

2. Myronchuk V. H., Hulyi I. S., Pushanko M. M., Orlov L. O., Ukrayinets A. I. & oth. (2007). *Obladnannya pidpryemstv pererobnoyi ta kharchovoyi* [Equipment of processing and food industry enterprises]. Vinnytsya, Nova knyha Publ., 640 p.

3. Shved S. M., Iperin I. V. (2012). *Systemnyy analiz tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva khllobulochnykh vyrobiv. Skhidno-yevropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy* [Eastern European Journal of Advanced Technologies], no. 613 (60), pp. 44–46.

4. Khromenkov V. M. (2004). *Tekhnologicheskoye oborudovaniye khlebzavodov i makaronnykh fabrik* [Technological equipment for bakeries and pasta factories]. St. Petersburg, GTSORD, 496 p.

5. Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Vozniak A. V., Omelchenko O. V., Zaikina D. P., Kopaihora O. K., Sheina A. V. (2019). *Intelektualni systemy upravlinnia vyrobnytstvom khllobulochnykh vyrobiv* [Intelligent control systems for the production of bakery products]. Kryvyy Rih, Chernyavskyy D. O. Publ., 204 p.

6. Pupkov K. A., Ehupov N. D. (eds). (2004). *Sintez regulyat'rov sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Synthesis of regulators of automatic control systems]. *Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of the classical and modern theory of automatic control]. Vol. 3. Moscow, MGTU Publ., 540 p.

7. Khorolskyi V. P., Kopaihora O. K., Havryshkevych Iu. S., Boichenko A. O. (2020). *Systema optymalnoho upravlinnia enerhospozhyvanniam vyrobnytstva khliba* [System of optimal energy management of bread production]. *Visnyk KHNU. Tekhnichni nauky* [Bulletin of KhNU. Technical sciences], no. 1, pp. 239–248.

Objective. *The purpose of the article is to develop methods of identification and algorithms of adaptive control of complex dynamic objects of food production with therapeutic and prophylactic properties for regions with technogenic load*

Methods. *Methods of theory of system identification (for selection and justification of structure of mathematical model of control object) were used in the research, as well as methods of analytical design of optimal adaptive regulators and substantiation of principles of identification of objects using the method of maximum degree of stability, as well as development of algorithms for optimal control of food production, methods of nonlinear dynamics to determine the characteristics of controlled processes, methods Modeling and simulation using software developed in the MATLAB environment to determine the effectiveness of the proposed ways to manage the production of bakery products.*

Results. *It is theoretically proved that the identification of bread production processes is carried out by determining the modes of operation of the controlled process and the dimension of its state, on the basis of which using the methods of optimization of non-minimal-phase objects of the food industry determines the structure and parameters of the process model, which allows to build adaptation algorithms that adapt to changes object parameters. Adaptive systems of optimal control of the processes of production of bakery products have been developed, which allows to improve the quality of control of these processes while changing their parameters and modes of operation, perturbed environment and management goals. The developed algorithms are implemented with the help of modern microprocessor systems that work as identifiers and provide automatic quasi-optimal adjustment of control systems for technological stages of food production. It is established that the optimum quality of regulation in the production of bread is achieved with the help of adaptive digital regulators, namely: when using adaptive digital regulators in the control system of stages of production of frozen varieties of bread, the variance of the regulatory parameter is reduced by 2.1 times and the time of the transition process will be reduced by 25 % compared to PID control.*

Key words: *identification, control algorithms, adaptation, adaptive systems, production management, bakery products.*

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -40-1-46-51
УДК 621.325.5

Цвіркун Л. О., канд. пед. наук¹
Цвіркун С. Л., канд. техн. наук²
Гейєр Г. В., д-р екон. наук, професор¹
Поплавський Д. Є., студент¹

- ¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua
² Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: tserg30@ukr.net

АВТОМАТИЧНА ФІЛЬТРАЦІЯ ЗОБРАЖЕННЯ ПОТОКУ ЯБЛУК НА КОНВЕЄРНІЙ ЛІНІЇ В СИСТЕМІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЇХ РІЗНОВИДІВ

UDC 621.325.5

Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences¹
Tsvirkun S. L., PhD in Engineering sciences²
*Heiter H. V., Grand PhD in Economy sciences,
Professor¹*
Poplavsky D. E., Student¹

- ¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua
² Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: tserg30@ukr.net

AUTO FILTERING OF APPLE FLOW ON THE CONVEYOR LINE IN THE VARIETY RECOGNITION SYSTEM

Мета — дослідити фільтрацію зображення потоку яблук на конвеєрній лінії в системі розпізнавання їх різновидів.

Методи. У роботі для підвищення ефективності розпізнавання різновидів яблук у потоці було застосовано методи просторової та частотної фільтрації зображень.

Результати. Розглянуто схему автоматизованого управління процесом сортування яблук, що включає в себе систему розпізнавання характеристик яблук, а саме розмір d , вагу t , колір g , автоматизовану систему управління (АСУ) процесом сортування яблук, виконавчий механізм. Зазначено, що система розпізнавання різновидів яблук на основі низки фотографічних зображень, а також інформації про розмір, вагу і колір яблук у потоці на конвеєрній лінії визначає місце розташування та відстежує переміщення яблук певного різновиду. На основі отриманої інформації АСУ формує керуючий вплив виконавчого механізму, який відокремлює яблука шуканого різновиду із загального потоку. Яблука, що залишилися, направляються в промисловий переділ для виробництва соку або яблучної сировини у вигляді повидла або джему. Досліджено, що ефективність розпізнавання різновидів яблук у потоці залежить від якості її фотографічних зображень, а спотворення зображення і наявність шумів знижують якість визначення контурів і, як наслідок, характеристик окремих об'єктів. Виникнення перешкод може бути викликано як зміною характеристик яблук і повітря, так й іншими технологічними чинниками. Короткострокові перешкоди, пов'язані з тривалістю порівняння фіксації кадрів відеокамерою, доцільно усувати усередненням декількох послідовних кадрів. Зазначено, що яблука, які знаходяться в потоці на конвеєрній лінії, спричиняють деяке зниження контрасту зображення, спотворюючи розподіл потоку. Проте часткове поглинання і розсіяння світлового випромінювання призводить до зменшення різкості отриманого фотографічного зображення. Було встановлено, що для відновлення фотографічних зображень в

Надійшла до редакції 16.03.2019 р.

© Л. О. Цвіркун, С. Л. Цвіркун, Г. В. Гейєр,
Д. Є. Поплавський, 2020

умовах випадкових перешкод, викликаних зміною вологості, рухом яблук щодо конвеєрної лінії й датчика відеосигналу, а також зовнішніми параметрами навколишнього середовища доцільно здійснювати з використанням методів просторової і частотної фільтрації зображень.

Ключові слова: конвеєрна лінія, процес сортування, фотографічне зображення, характеристики яблук, оператор Лапласа, метод Річардсона-Люсі, яблука.

Постановка проблеми. Ефективність розпізнавання різновидів яблук у потоці на конвеєрній лінії істотно залежить від якості фотографічних зображень. Спотворення зображення і наявність шумів призведе до неправильного визначення характеристик яблук. Виникнення перешкод може бути викликано зміною повітря або іншими технологічними чинниками. Короткострокові перешкоди, пов'язані з тривалістю порівняння фіксації кадрів відеокамери, доцільно усувати усередненням декількох послідовних кадрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішення завдання підвищення якості зображення потоку яблук на конвеєрній лінії потребує дослідження методів просторової і частотної фільтрації зображень. Яблука, що знаходяться в потоці на конвеєрній лінії, викликають зниження контрасту зображення, спотворюючи розподіл потоку, хоча потік у зображенні в цілому зберігається. Для усунення цього недоліку під час оброблення зображення може бути використаний оператор Лапласа [1]. Слід зазначити, що через диференціальний характер оператора Лапласа, ділянки фотографічного зображення з постійним значенням яскравості переводяться в нуль. Часткове поглинання і розсіяння світлового випромінювання призводить до зменшення різкості отриманого фотографічного зображення. Застосування алгоритму Річардсона-Люсі є ітераційним і подібним до методу максимальної правдоподібності, у якому зображення моделюється у вигляді статистик Пуассона [1, 2].

Мета статті — дослідження фільтрації зображення потоку яблук на конвеєрній лінії в системі розпізнавання їх різновидів.

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 1 подано схему автоматизованого управління процесом сортування яблук, що включає в себе систему розпізнавання характеристик яблук, а саме розмір d , вагу m , колір g , АСУ процесом сортування яблук, виконавчий механізм. Система розпізнавання різновидів яблук на основі серії фотографічних зображень, а також інформації про розмір, вагу і колір яблук у потоці на конвеєрній лінії визначає місце розташування та відстежує переміщення яблук певного різновиду. На основі отриманої інформації АСУ формує керуючий вплив виконавчого механізму, який відокремлює яблука шуканого різновиду із загального потоку. Яблука, що залишилися, спрямовуються в промисловий переділ для виробництва соку або яблучної сировини у вигляді повидла або джему.

Важливою характеристикою в даному випадку є розмір яблук, визначення якого доцільно здійснювати з використанням автоматичних засобів візуального спостереження. Це дозволить також здійснювати відстежування переміщення яблук потоці на конвеєрній лінії та їх подальше сортування.

Ефективність розпізнавання різновидів яблук у потоці залежить від якості її фотографічних зображень. Спотворення зображення і наявність шумів знижують точність визначення контурів і, як наслідок, характеристик окремих об'єктів. Виникнення перешкод може бути викликано як зміною характеристик яблук та повітря, так і технологічними чинниками.

Як зазначалося вище, яблука, що знаходяться в потоці на конвеєрній лінії, викликають зниження контрасту зображення, спотворюючи розподіл потоку, хоча потік у зображенні загалом зберігається. Для усунення цього недоліку під час оброблення зображення був використаний оператор Лапласа [1], який для зображення $f(x, y)$ задається за формулою

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}. \quad (1)$$

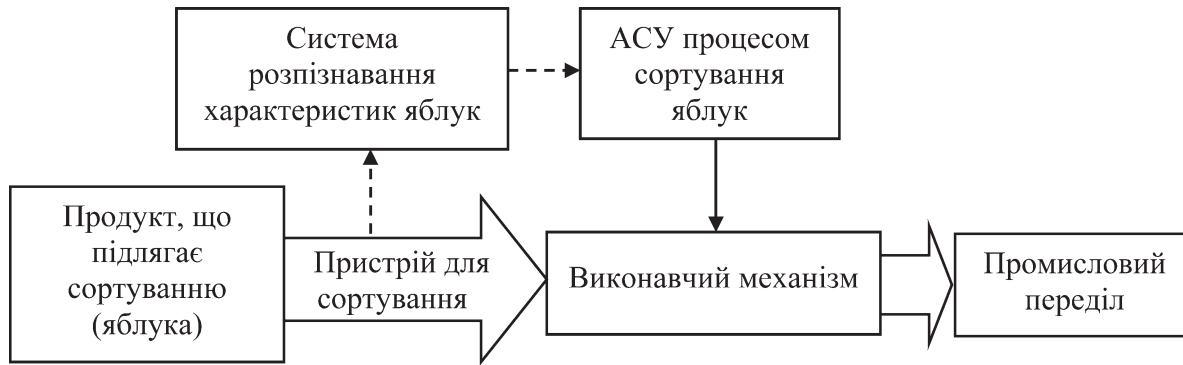


Рисунок 1 — Система управління процесом сортування яблук

Як чисельну наближення похідних другого порядку використовують

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y); \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y). \quad (3)$$

У результаті підстановки (1), (2) у (3) отримаємо:

$$\nabla^2 = [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] - 4f(x, y). \quad (4)$$

Підвищення якості фотографічного зображення з використанням оператора Лапласа здійснюють за формулою

$$g(x, y) = f(x, y) + c \nabla^2 f(x, y), \quad (5)$$

де $f(x, y)$ — вихідне зображення; $g(x, y)$ — покращене зображення; c — параметр, що дорівнює 1, якщо центральний коефіцієнт маски є позитивним [3], в іншому випадку дорівнює -1 .

Через диференціальний характер оператора Лапласа ділянки фотографічного зображення з постійним значенням яскравості переводяться в нуль. Для відновлення тональності таких ділянок до перетвореного зображення було додано вихідне.

Прикладом результату застосування оператора Лапласа є фотографічне зображення, подане на рис. 2.

Підвищення різкості було досягнуто застосуванням високочастотної фільтрації, яка послаблює низькі частоти і залишає високі частоти перетворення Фур'є відносно незмінними. Передавальну функцію високочастотного фільтра отримують за відповідною функцією низькочастотного фільтра [4, 6, 7, 8]

$$H_{hp}(u, v) = 1 - H_{lp}(u, v). \quad (6)$$

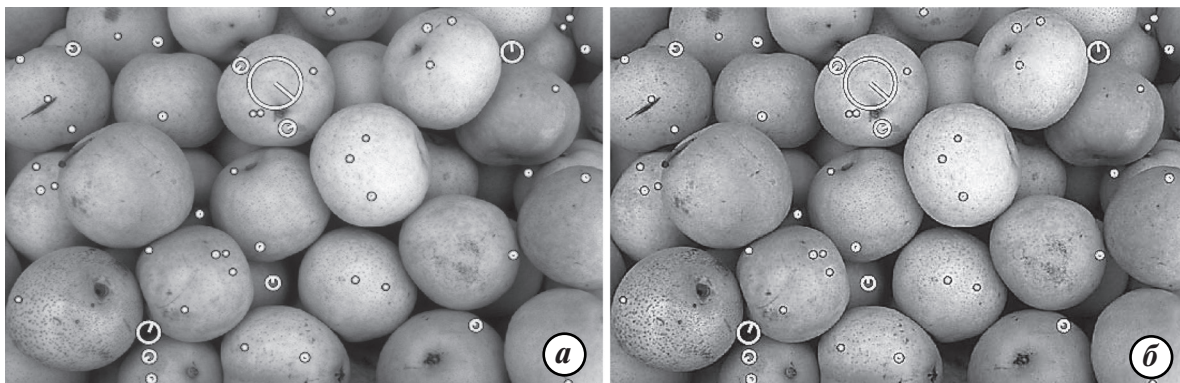


Рисунок 2 — Застосування оператора Лапласа до фотографічного зображення:
а — початкове зображення; б — перетворене зображення

До зображень потоку яблук на конвеєрній лінії були застосовані високочастотні фільтри, отримані з ідеального фільтра низьких частот і фільтра Гаусса. Ідеальний низько-частотний фільтр має передавальну функцію

$$H(u,v) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } D(u,v) \leq D_0; \\ 0, & \text{якщо } D(u,v) > D_0 \end{cases} \quad (7)$$

де D_0 — задане невід'ємне число; $D(u, v)$ — відстань від центру фільтра до точки (u, v) .

Геометричним місцем точок, для яких $D(u, v) = D_0$ є колом, тобто ідеальний фільтр множить на нуль усі компоненти двовимірного дискретного перетворення Фур'є фотографічного зображення $F(u, v)$, які виходять за межі кола, а всі компоненти всередині та на кордоні кола залишає незмінними (множить на одиницю).

У процесі руху конвеєра спостерігається переміщення окремих яблук щодо конвеєрної стрічки, викликане вібрацією стрічки і явищем сегрегації.

Після проведення досліджень встановлено, що кращим результатом з відновлення фотографічного зображення об'єкта є фільтрація згідно з методом Річардсона-Люсі [1, 2, 5, 9, 10]. Максимізація функції правдоподібності моделі приводить до рівняння, яке виконується за умови збіжності таких ітерацій

$$\hat{f}_{k+1}(x, y) = \hat{f}_k(x, y) \cdot \left[h(-(x, -y)) \cdot \frac{g(x, y)}{h(x, y) \cdot \hat{f}_k(x, y)} \right]. \quad (8)$$

Таким чином, відновлення фотографічних зображень в умовах випадкових шумів і перешкод, викликаних зміною вологості та рухом яблук щодо конвеєрної лінії й датчика відеосигналу, а також зміною параметрів навколишнього середовища, доцільно здійснювати з використанням методів просторової і частотної фільтрації зображень.

Висновки. Отже, система розпізнавання різновидів яблук на основі серії фотографічних зображень, а також інформації про розмір, вагу і колір яблук у потоці на конвеєрній лінії визначає місце розташування та відстежує переміщення яблук певного різновиду. Для цього було досліджено схему автоматизованого управління процесом сортування яблук, що включає в себе систему розпізнавання характеристик яблук, а саме розмір d , вагу m , колір g , автоматизовану систему управління процесом сортування яблук, виконавчий механізм. Доведено, що відновлення фотографічних зображень в умовах випадкових шумів і перешкод, викликаних зміною температури, вологості, руху щодо конвеєрної лінії й фіксуючого пристрою, а також зміною параметрів навколишнього середовища, доцільно здійснювати з використанням оператора Лапласа і алгоритму Річардсона-Люсі.

Список літератури

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М. : Техносфера, 2014. 616 с.
2. Parker, J., James, R. (2001). Algorithms for Image Processing and Computer Vision. Indiana, Wiley Publishing, 480 p.
3. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 352 с.
4. Алпатов Б. А., Бабаян П. В., Балашов О. Е. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М. : Радиотехника, 2008. 176 с.
5. Журавель И. М. Краткий курс теории обработки изображений. URL : <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php>.
6. Алпатов Б. А., Бабаян П. В., Балашов О. Е. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М. : Радиотехника, 2008. 176 с.
7. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М. : Мир, 2002. 312 с.

8. Lim Jae, S. (2007). Two-Dimensional Signal and Image Processing. *Englewood Cliffs*. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 694 p.
9. Rosten, E., Drummond, T. (2012). Machine learning for high-speed corner detection. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, pp. 430–443.
10. Bay, H., Tuytelaars, T., Van Gool, L. (2006). SURF: Speeded up robust features // *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. no. 2, pp. 404–407.

References

1. Gonsales, R., Vuds, R., Eddins, S. (2014). *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede MATLAB* [Digital image processing in MATLAB]. Moscow, Tekhnosfera, 616 p.
2. Parker, J., James, R. (2001). Algorithms for Image Processing and Computer Vision. Indiana: Wiley Publishing, 2001. 480 p.
3. Gruzman, I., Kirichuk, V., Kosykh, V. (2002). *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v informatsionnykh sistemakh* [Digital image processing in information systems]. Novosibirsk, NSTU Publ., 352 p.
4. Alpatov, B., Babayan, P., Balashov, O. (2008). *Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob»yektov. Obrabotka izobrazheniy i upravleniye* [Methods for automatic detection and tracking of objects. Image Processing and Management]. Moscow, Radio engineering, 176 p.
5. Zhuravel', I. M. (2015). *Kratkiy kurs teorii obrabotki izobrazheniy, available at* [A short course in image processing theory]. Access mode : <http://matlab.exponenta/book2/index.php>.
6. Alpatov, B., Babayan, P., Balashov, O. (2008). *Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob»yektov. Obrabotka izobrazheniy i upravleniye* [Methods for automatic detection and tracking of objects. Image Processing and Management] . Moscow, Radio engineering, 176 p.
7. Prett, U. (2002). *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital image processing]. Moscow, Peace, 312 p.
8. Lim Jae, S. (2007). Two-Dimensional Signal and Image Processing. *Englewood Cliffs*. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 694 p.
9. Rosten, E., Drummond, T. (2012). Machine learning for high-speed corner detection. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, pp. 430–443.
10. Bay, H., Tuytelaars, T., Van Gool, L. (2006). SURF: Speeded up robust features // *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. no. 2, pp. 404–407.

Objective. *The aim of the article is to study the auto filtering of apple flow on the conveyor line in the variety recognition system.*

Methods. *In this work, methods of spatial and frequency filtering of images were applied to increase the recognition efficiency of varieties of apples in a stream on a conveyor line.*

Results. *A scheme of automated control in the process of sorting apples is considered, which includes a system for recognizing the characteristics of apples, namely size (d), weight (m), color (g), an automated control system (ACS) for the process of sorting apples, and an actuator. It is noted that the apple varieties recognition system based on a series of photographic images, as well as information about the size, weight and color of apples in the stream on the conveyor line, determines the location and tracks the movement of apples of a certain type. Based on the information received, the ACS generates the control action of the actuator, which separates the apples of the desired type from the general stream. Apples that remain are sent to the industrial redistribution for the production of juice or apple raw materials in the form of jam or jam. It is proved that the recognition efficiency of apple varieties in a stream depends on the quality of its photographic images, and image distortion and the presence of noise will reduce the accuracy of determining the contours and, as a result, the characteristics of individual objects. The occurrence of interference can be caused by a change in the characteristics of apples and air, as well as technological factors. Short-term obstacles associated with the duration of the comparison of frame fixation with a video camera should be eliminated by averaging several consecutive frames. It is emphasized that for apples located in the flow on the conveyor line, they cause a*

decrease in the image contrast, distorting the distribution of the flow, although the flow in the image as a whole is preserved. To eliminate this drawback during image processing, the Laplace operator can be used. However, partial absorption and scattering of light radiation leads to a decrease in the sharpness of the resulting photographic image. It was found that to restore photographic images under conditions of random noise and interference caused by changes in humidity and the movement of apples along the conveyor line and video sensor, as well as changes in environmental parameters, it is advisable to use the adaptive median filtering method and the Richardson-Lucy iterative method.

Key words: conveyor line, sorting process, photographic image, characteristics of apples, Laplace operator, Richardson-Lucy method, apples.

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -40-1-51-58

УДК 664.951.2

Червоний В. М., канд. техн. наук, доцент¹

Старков В. О., магістрант¹

Перекрест В. В., асистент²

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

Шамрай Д. С., студент²

¹ Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків, Україна, e-mail: oborud.hduht@gmail.com

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

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАСОЛЮВАННЯ СТАВКОВОЇ РИБИ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКУ

UDK 664.951.2

*Chervonyi V. M., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹*

Starkov V. O., Master's Degree student¹

Perekrest V. V., Assistant Professor²

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

Shamray D. S., Student²

¹ Kharkiv State University of Food Technology and Trade (Kharkiv, Ukraine), e-mail: oborud.hduht@gmail.com

² Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryvyi Rih, Ukraine), e-mail: perekrest@donnuet.edu.ua

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PROCESS OF SALTING WATER-HOLE FISH WITH ULTRASOUND

Мета — удосконалити спосіб засолювання ставкової риби з використанням ультразвукової обробки. Дослідження відповідного процесу дасть змогу отримати раціональні параметри, що сприятимуть інтенсифікації технологічного процесу засолювання.

Методи. У процесі досліджень використано експериментальні методи з використанням контрольно-виміральної апаратури відповідної точності, стандартні методики дослідження харчової сировини, сучасні методи математичної статистики.

Надійшла до редакції 12.03.2019 р. © В. М. Червоний, В. О. Старков, В. В. Перекрест, Г. В. Гейер, Д. С. Шамрай, 2020

Результати. Запропоновано для засолювання риби використовувати магнітострикційний перетворювач з резонансною частотою випромінювання 30 кГц та експериментальну установку на базі диспергатора УЗД-2Т. Визначено розподілення енергії у рибі під час засолювання за допомогою ультразвуку шляхом дослідження терморозподілу температур за об'ємом зразка ставкової риби. З метою визначення впливу ультразвукової обробки на кінетику середньої солоності риб та дослідження динаміки дифузії NaCl у рибі за тузлучного засолювання були проведені експериментальні дослідження з визначення фізико-хімічних показників соленої риби, тобто концентрації NaCl. Проведено експериментальні дослідження щодо виявлення впливу ультразвукової обробки на тривалість засолювання та якісні показники ставкової риби. Отримані раціональні показники відповідного технологічного процесу засолювання за допомогою ультразвукової обробки частотою 30 кГц: для товстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* val — тривалість засолювання $\tau=24...36$ год, солоність готової риби $S=7...10$ %, для білого амура *Stenopharyngodon idella* — $\tau=30...42$ год, $S=8...10$ %, для коропа *Cyprinus carpio* — $\tau=18...24$ год, $S=7...9,5$ %. Встановлено, що застосування ультразвукових коливань дозволяє скоротити тривалість засолювання до 42 %, що сприятиме збільшенню продуктивності технологічних ліній з переробки ставкової риби.

Ключові слова: риба ставкова, засолювання, коефіцієнт дифузії, ультразвук, частота, енергія, терморозподіл, розсіювання.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку рибопереробної промисловості України актуальним питанням є організація комплексної та безвідходної переробки риби прісноводних водойм та інших гідробіонтів. Так, існуючі технології не дозволяють цілком використовувати сировину з риби прісноводних водойм, унаслідок чого на підприємствах утворюється значний відсоток відходів. Використання електрофізичних методів надасть змогу інтенсифікувати вирішення цієї проблеми. З використанням ультразвукової обробки можливо отримання концентрованих бульйонів та екстрактів з риби прісноводних водойм. Традиційні технології обробки ставкової риби не можна назвати раціональними. Основна частина ставкової риби реалізується населенню в цілому вигляді, що призводить до втрати частин тушки, які мають харчове, кормове або технічне значення. Тому необхідно створювати нові технології, які передбачають більш ретельну переробку риби і комплексне використання сировини.

Переробка основної маси сировини за маловідходними технологіями дасть змогу отримати додатково значну кількість цінного харчового, кормового та технічного продукту [1].

Неухильні вимоги щодо збільшення обсягів і асортименту рибної продукції, найбільш раціонального використання матеріальних ресурсів, постійного підвищення харчової цінності продуктів харчування диктує необхідність оптимізації та інтенсифікації технологічних процесів, удосконалення оцінки якості рибної сировини. Розвиток і прогрес технології, механізації обробки риби неможливі без поглиблення уявлень про властивості рибних продуктів, впливу на них різних технологічних чинників, без знання взаємозв'язку явищ і процесів, що відбуваються при цьому в продуктах з риби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ґрунтуючись на дослідженнях І. Е. Ельпінера, В. М. Хмельєва, Г. М. Постнова [2–4], присвячених питанню використання ультразвуку, заснованого на властивостях і специфічності впливу ультразвукових коливань на масообмінні процеси, можна висунути гіпотезу, що як основу ультразвукової обробки риби можна використати енергетичний вплив ультразвукових коливань на клітинну структуру риби, за якого відбуваються як змінні процеси у м'язових волокнах, так і активація ферментного комплексу, що інтенсифікує засолювання і зменшує витрати енергетичних ресурсів. На сьогодні ультразвукові коливання у промисловості використовуються для інтенсифікації процесів тендеризації, отримання водно-жирових емульсій, покращення якості харчових продуктів тощо.

Теорії засолювання і результати досліджень викладено в працях І. П. Леванідова, Н. А. Воскресенського [5–6]. Проте наявні відомості про використання ультразвуку для

інтенсифікації процесу засолювання ставкової риби є незначними і мають суперечливий характер, що зумовлює актуальність проведення відповідних досліджень.

Мета статті — удосконалення способу засолювання ставкової риби з використанням ультразвукової обробки. Дослідження відповідного процесу дозволить отримати раціональні параметри, що сприятимуть інтенсифікації технологічного процесу засолювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою обґрунтування вибору частоти випромінювання, для засолювання риби використовувався серійний магнітострикційний перетворювач з резонансною частотою випромінювання 22 кГц, а також експериментальна установка на базі диспергатора УЗД-2Т, для визначення їхнього впливу на процес засолювання риби за допомогою ультразвуку.

З метою виявлення впливу ультразвукової обробки на процес засолювання риби та перевірки результатів теоретичних розрахунків, їх експериментального обґрунтування для визначення раціональних параметрів процесу засолювання, резонансні частоти випромінювача змінювали в діапазоні від 22 кГц до 40 кГц, шляхом моделювання і зміни резонансних параметрів коливальної системи «ультра звуковий генератор — ультразвуковий перетворювач» [7]. Так, коефіцієнти пропускання K_D , відбиття K_Γ , акустичний опір середовища R_A не залежать від частоти випромінювання, а лише від швидкості звуку та густини середовища, $K_D = 0,93$, $K_\Gamma = 0,06$, $R_A = 1,61 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Як можна побачити на рис. 1, із збільшенням частоти випромінювання кількість розсіяння ультразвукової енергії магнітострикційного перетворювача поступово збільшується та досягає максимуму на величині 30 кГц. Подальше збільшення частоти випромінювання до суттєвої зміни розсіяння ультразвукової енергії магнітострикційного перетворювача не призводить, а після досягнення 38 кГц зменшується. Швидше за все це пояснюється тим, що під час зміни резонансних параметрів магнітострикційного перетворювача відбулася зміна добротності магнітострикційного трансформатора випромінювача і, як наслідок, збільшилися втрати енергії в обмотці випромінювача.

Його добротність — це відношення індуктивного опору витків обмотки до активного опору матеріалу обмотки. Відповідно зменшилася кількість витків обмотки, зменшилася довжина обмотки, погіршилася добротність. Використаний спосіб тонкого підстроювання ультразвукової коливальної системи не досконалий, оскільки не враховує зміну добротності випромінювача та втрати енергії в ньому, при тривалій роботі швидше всього призведе до його поломки, але для дослідження впливу ультразвукових коливань на процес засолювання риби достатній.

Наступним завданням було визначення кількості ультразвукової енергії, яка розсіюлася під час обробки та визначення розподілу ультразвукової енергії усередині робочої камери ультразвукового апарата [8]. Для визначення розподілення енергії у рибі під час засолювання за допомогою ультразвуку було досліджено терморозподіл температур за об'ємом зразка риби (рис. 2).

На рис. 2 видно, що температура поверхневих шарів більша та зменшується із глибиною розташування термопар. Це пояснюється тим, що розсіяння ультразвукової енергії найкраще відбувається в шкірі риби та в поверхневих шарах м'яса. Що своєю чергою, призводить до підвищення температури, із збільшенням глибини розташування термопар температура зменшується, що свідчить про затухання енергії хвилі, на відстані $\lambda/2$ енергія хвилі зменшується на половину, а на відстані λ повністю затухає. Під час проведення

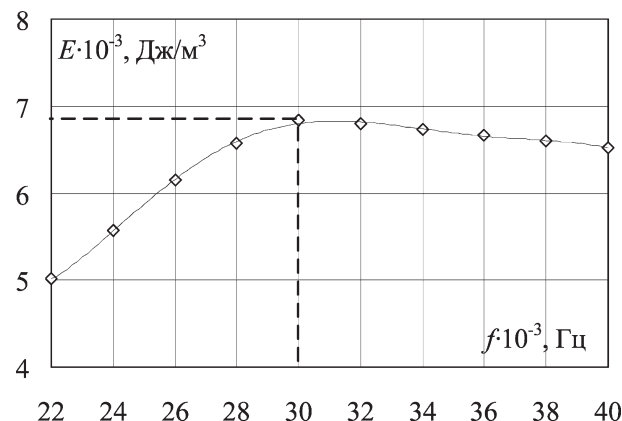


Рисунок 1 — Зміна розсіяння ультразвукової енергії E магнітострикційного перетворювача від частоти випромінювання f

експерименту спостерігалось помутніння тузлуку й утворення на поверхні розділу фаз бульбашок піни. Це можна пояснити тим, що за рахунок поглинання ультразвукової енергії підвищувалася температура тузлуку і зразків риби, починалася відбуватися часткова денатурація з виділенням водорозчинних білків у розчин. Вочевидь, це відбувається через те, що початкова температура денатурації білків риби становить $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Щоб уникнути цього, тривалість ультразвукової обробки обмежили інтервалом 10...15 хв.

Як можна побачити з отриманих результатів (рис. 3), енергія, що розсіюється на зразках різних видів риби, із збільшенням тривалості ультразвукової обробки збільшується за умови постійного підведення енергії. Причому розсіювання на зразках товстолобика більше, ніж на зразках з білого амура, а розсіювання на зразках із білого амура більше ніж на зразках коропа. Тобто розсіювання енергії ультразвукових коливань відбувається більше в тих зразках рибної сировини, де жирової тканини менше. Отриманий результат можна пояснити тим, що ступінь нагрівання м'язової і жирової тканини зумовлений характером поглинання, інтенсивністю і частотою ультразвуку, внаслідок неоднорідності шкіри та м'язової тканини поглинання в ній більше, ніж у шарі жиру.

У перші 10 хв обробки розсіювання ультразвукової енергії відбувається незалежно від сорту риби, розбіжності виявляються лише після 15 хв обробки, що зумовлено морфологічними ознаками риби різного сорту.

Отже, можна зробити висновок, що оскільки зразки з товстолобика містять більше жирової тканини, ніж зразки з білого амура та коропа, то розсіювання ультразвукової енергії на них менше порівняно з іншими зразками. Максимальне розсіювання ультразвукової енергії порівняно з іншими досліджуваними зразками відбувається на зразку з коропа, оскільки він містить найменшу кількість жирової тканини.

З метою визначення впливу ультразвукової обробки на кінетику середньої солоності риб та дослідження динаміки дифузії NaCl у рибі за тузлучного засолювання, були проведені експерименти з визначення фізико-хімічних показників соленої риби, тобто концентрації NaCl. Ультразвуком оброблялися зразки товстолобика, білого амура, коропа. Частота ультразвукової обробки 30 кГц, температура тузлуку $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$, густина тузлуку — $1,20\text{ г/см}^3$. Дані з середньої солоності риби S наведені на рис. 4.

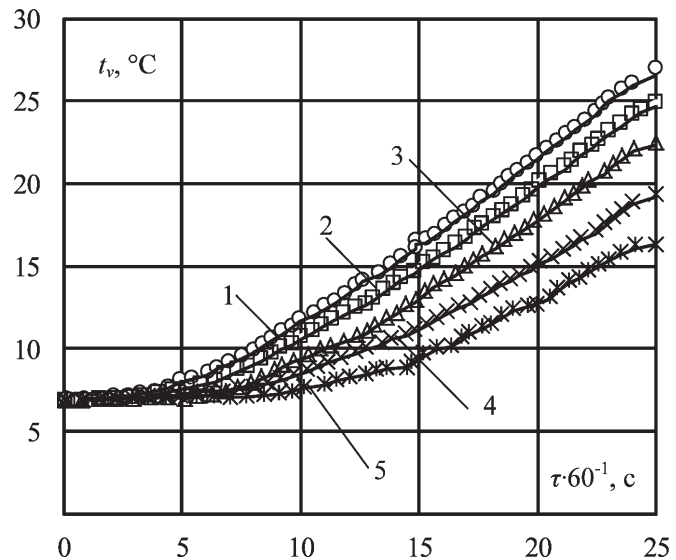


Рисунок 2 — Розподілення температури в товстолобика під час ультразвукової обробки в тузлуку на глибині: 1 — 5 мм, 2 — 10 мм, 3 — 15 мм, 4 — 20 мм, 5 — 25 мм

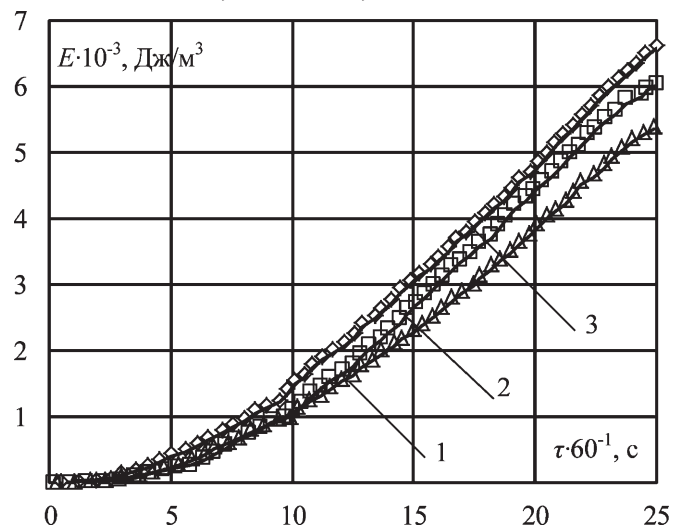


Рисунок 3 — Розсіювання ультразвукової енергії в процесі обробки риби випромінювачем з частотою 30 кГц: 1 — для коропа; 2 — для білого амура; 3 — для товстолобика

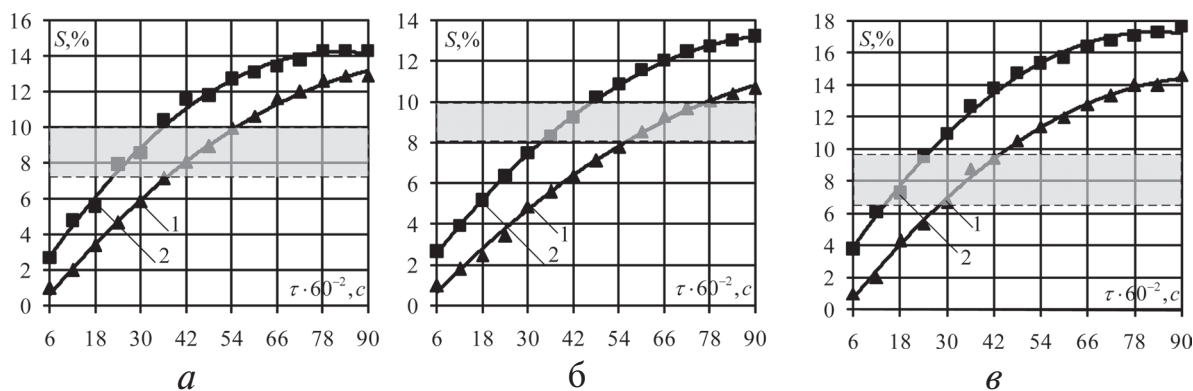


Рисунок 4 — Кінетика середньої солоності риби: *а* — товстолобик; *б* — білий амур; *в* — короп; 1 — без обробки ультразвуком; 2 — обробка за допомогою ультразвуку частотою 30 кГц (густина розчину NaCl становить 1,20 г/см³, температура розчину NaCl 7 ° С)

За результатами досліджень виявлено, що вплив ультразвукових хвиль інтенсифікує процес засолювання на 28...42 % для всіх видів риб, за якими проводили дослідження. Наприклад, товстолобики набувають солоності 12...16 %, витрачаючи на 31...36 % менше часу, ніж за звичайного конвекційного засолювання. Подібна тенденція характерна і для інших видів риб. Так, коропа набувають солоності 12...17 %, витрачаючи на 40...46 %, білі амури набувають солоності 10...13 %, витрачаючи на 38...42 % менше часу, ніж за звичайного конвекційного засолювання [8].

Для зменшення тривалості отримання реальних значень середньої солоності риби були проведені дослідження щодо визначення впливу електричного опору R у зразку риби на зміну значення його середньої солоності (рис. 5) за допомогою електрохімічного методу [9].

Під час досліджень було виявлено, що значення електричного опору в зразках товстолобика зменшується залежно від збільшення концентрації тузлуку для засолювання риби при однаковій тривалості процесу. Отримані дані з високою вірогідністю корелюють з даними, отриманими за стандартними методиками (рис. 6), відхилення можна пояснити жирністю риби та різними морфологічними ознаками.

За результатами літературного огляду було встановлено, що дані щодо визначення впливу ультразвукової обробки на зміну коефіцієнта дифузії під час засолювання рибної сировини відсутні, а саме для коропа, товстолобика та амура білого.

Визначення коефіцієнта дифузії проводили за рівнянням [10,11]:

$$D = \frac{\pi \cdot S_{\text{сеп}} \cdot m^w}{c^2} \cdot \frac{1}{F_p^2} \cdot \frac{1}{3600}, \quad (1)$$

де D — коефіцієнт дифузії, м²/с; $S_{\text{сеп}}$ — середня солоність зразка риби, од.; c — густина тузлуку, кг/м³; τ — тривалість процесу засолювання, год; m — маса зразка риби, кг; F_p — площа поверхні зразка риби, м².

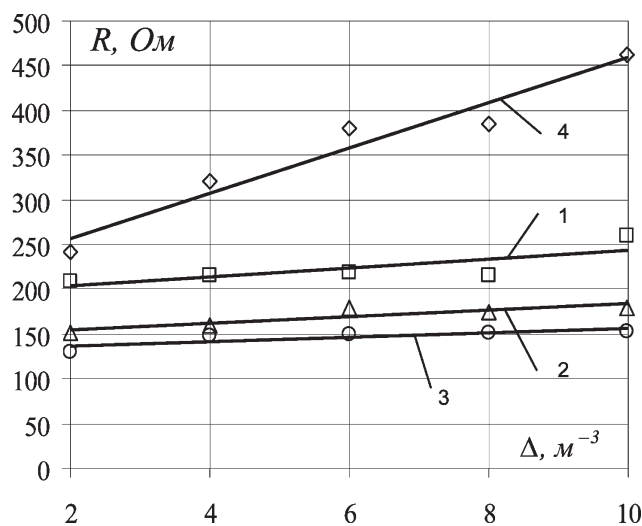


Рисунок 5 — Залежність зміни електричного опору R зразка риби оселедця атлантичного залежно від глибини проникнення Δ іонів NaCl:

- 1 — засолювання у 5 %-у розчині NaCl;
- 2 — засолювання у 10 %-у розчині NaCl;
- 3 — засолювання у 15 %-у розчині NaCl;
- 4 — несолоний зразок

За результатами експериментальних досліджень, дані яких наведені на графіках рис. 7, можна визначити, що характер кривих однаковий. Спочатку значення коефіцієнта дифузії знижується, а після досягнення концентрації NaCl до меж 10...12 % що збільшується. Найбільші значення коефіцієнта дифузії характерні для випадку, коли засолювання відбувалося під впливом ультразвукових хвиль із частотою 30 кГц.

На початку процесу, коли концентрація NaCl у м'ясі риби мінімальна, коефіцієнти дифузії максимальні. По мірі засолювання м'язові тканини риби набухають в результаті вбирання вологи. Набухання тканин риби призводить до зменшення ефективної площі, на якій відбувається дифузія. Таким чином, зменшення коефіцієнтів дифузії пов'язано зі скороченням площі, через яку NaCl дифундує

всередину зразка. Після досягнення певної критичної концентрації NaCl у м'язах риби відбувається часткове висолювання білків і м'язова тканина втрачає вологу пропорційно вмісту NaCl. Висолування білків сприяє скороченню розмірів тканин і деякому збільшенню ефективної поверхні, через яку дифундує NaCl. Зростання ефективної поверхні зумовлює незначне збільшення коефіцієнта дифузії.

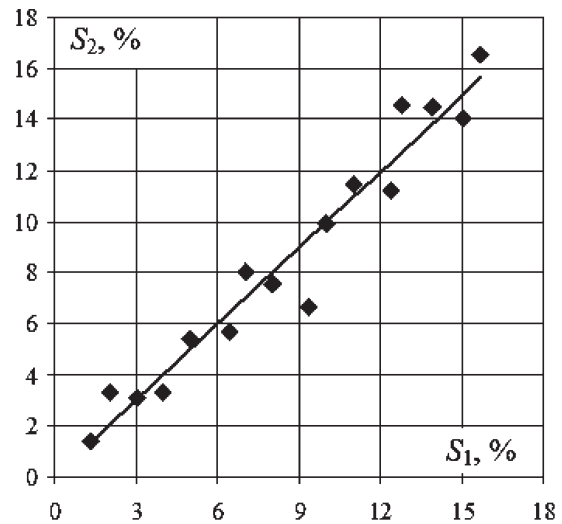


Рисунок 6 — Кореляція визначених значень середньої солоності риби аргентометричним S_1 та електрохімічним S_2 методами

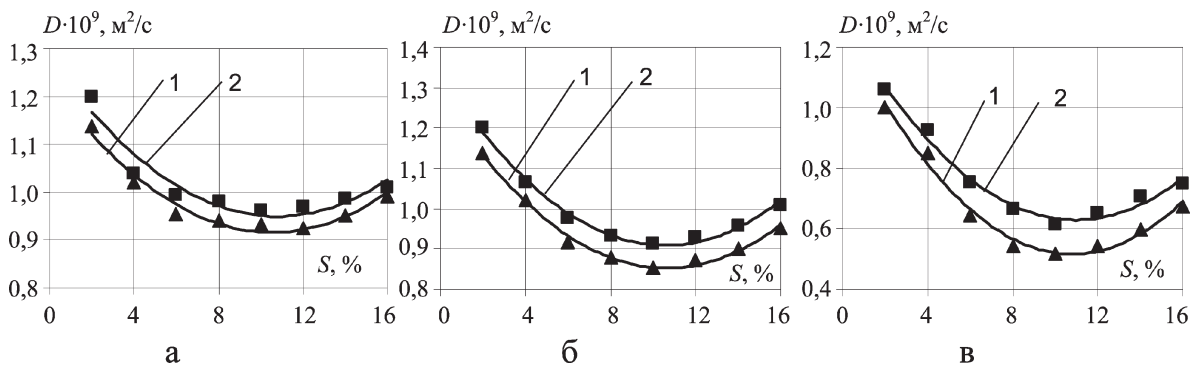


Рисунок 7 — Залежність коефіцієнта дифузії D NaCl у різних видах риби від середньої солоності S : а — товстолобик; б — білий амур; в — короп; 1 — без обробки ультразвуком; 2 — обробка за допомогою ультразвуку частотою 30 кГц (густина розчину NaCl становить 1,20 г/см³, температура розчину NaCl 7 °С)

Засолування риби складається з двох процесів: засолювання риби і дозрівання продукту. Найбільш вивченим є процес засолювання. Більш складним процесом, теорія якого досі не розроблена, є дозрівання солоної риби.

Процес дозрівання характеризується певними явищами: зникає колір, запах і смак сирої риби, жир рівномірно перерозподіляється в тканинах, м'ясо риби легко відділяється від кісток і стає дуже ніжним, з особливо приємним ароматом — букетом. Швидкість і глибина протікання цих змін залежить від низки чинників: виду риби, її фізіологічного стану і жирності, температури засолювання та зберігання, концентрації NaCl у рибі тощо.

Під час аналізу експериментальних даних встановлено, що попередня обробка ультразвуком порівняно зі звичайним засолюванням пришвидшує процес дозрівання на 15...25 %. Це дозволяє зробити висновок, що підвищення буферної ємності відбувається внаслідок інтенсифікації біохімічних реакцій у м'ясі риби під впливом ультразвукової обробки.

Експериментальні дані щодо тривалості процесу засолювання корелюють з високим ступенем вірогідності з даними теоретичних розрахунків.

Висновки. Отже, раціональними параметрами процесу засолювання риби за допомогою ультразвукової обробки частотою 30 кГц для товстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* val — тривалість засолювання $\tau = 24...36$ год, солоність готової риби $S = 7...10$ %, для білого амура *Stenopharyngodon idella* — $\tau = 30...42$ год, $S = 8...10$ %, для коропа *Cyprinus carpio* — $\tau = 18...24$ год, $S = 7...9,5$ %.

Список літератури

1. Постнов Г. М., Червоний В. Н., Гулий А. В., Максименко Н. М. Разработка перспективных направлений переработки прудовой рыбы. *Применение безотходных и экологически чистых технологий в пищевой и химической промышленности: республиканская конференция, 14 марта 2017 г., Наманган.* Наманганский инженерно-педагогический институт. Наманган : НИПИ, 2017. С. 148–149.
2. Хмелев В. Н., Сливин А. Н., Барсуков Р. В., Цыганок С. Н., Шалунов А. В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 203 с.
3. Дейниченко Г. В., Постнов Г. М., Чеканов М. А. та ін. Безвідходна переробка м'яса з високим вмістом сполучної тканини з використанням ультразвуку : монографія. Харків : Факт, 2012. 192 с.
4. Эльпинер И. Е. Биофизика ультразвука. М. : Наука, 1975. 240 с.
5. Леванидов И. П., Ионас Г. П., Слуцкая Т. Н. Технология соленых, копченых и вяленых рыбных продуктов. М. : Агропромиздат, 1987. 157 с.
6. Воскресенский Н. А. Кинетика процесса посола рыбы. *Тр. ВНИРО*, 1952. Т. 20. С. 56–75.
7. Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М., Нечипоренко Д. А. Визначення інтенсивності випромінювання акустичної потужності ультразвукової установки. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць*. 2009. Вип. 1 (9). С. 238–243.
8. Постнов Г. М., Яковлев О. В., Червоний В. М., Чеканов М. А. Енергетичний вплив ультразвукової обробки на інтенсифікацію процесу соління океанічної риби. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 166. С. 180–186.
9. Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М., Яковлев О. В. Електрохімічний метод визначення швидкості перебігу масообмінних процесів під час засолення океанічної риби. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі*. 2014. Вип. 1 (19). С. 153–160.
10. Димова В. В., Ершов А. М., Гроховский В. А., Ершов М. А. Теоретические основы процесса посола рыбы и расчёт продолжительности просаливания. *Вестник МГТУ*. Том 9. №5. 2006. С. 730–741.

References

1. Postnov, G. M., Chervonyj, V. N., Gulyj, A. V., Maksimenko, N. M. (2017). *Razrabotka perspektivnyh napravlenij pererabotki prudovoj ryby* [Development of promising areas of pond fish processing]. *Primenenie bezothodnyh i jekologicheski chistyh tehnologii v pishhevoj i himicheskoy promyshlennosti: respublikanskaja konferencija* [The use of waste-free and environmentally friendly technology in the food and chemical industries], Namangan, pp. 148–149.
2. Hmelev, V. N., Slivin, A. N., Barsukov, R. V., Cyganok, S. N., Shalunov, A. V. (2010). *Primenenie ul'trazvuka vysokoj intensivnosti v promyshlennosti* [The use of high-intensity ultrasound in industry]. Biysk, Alt. state tech. un. Publ., 203 p.
3. Deinychenko, H. V., Postnov, H. M., Chekanov, M. A., Chervonyi, V. M., Netchyporenko, D. A. (2012). *Bezvidkhodna pererobka miasa z vysokym vmistom spoluchnoi tkanyny z vykorystanniam ultrazvuku* [Waste-free meat processing with high content of connective tissue using ultrasound]. Kharkiv, Fakt Publ., 240 p.

4. Jel'piner, I. E. (1975). *Biofizika ul'trazvuka* [Ultrasound Biophysics]. Moscow, Nauka Publ., 240 p.
5. Levanidov, I. P., Ionas, G. P., Sluckaja, T. N. (1987). *Tehnologija solenyh, kopchenyh i vjalenyh rybnyh produktov* [Technology of salted, smoked and dried fish products]. Moscow, Agropromizdat Publ., 157 p.
6. Voskresenski,j N. A. (1952). *Kinetika processa posola ryby* [Kinetics of the process of salting fish]. *Proceedings of VNIRO* [Trudy VNIRO], vol. 20, pp. 56–75.
7. Postnov, H. M., Chekanov, M. A., Chervonyi, V. M., Nechyporenko, D. A. (2009). *Vyznachennia intensyvnosti vyprominiuvannia akustychnoi potuzhnosti ultrazvukovoi ustanovky* [Determination of the radiation intensity of the acoustic power of the ultrasonic unit]. *Zb. nauk. prats Khark. derzh. un-t kharchuvannia ta torhivli «Prohresyvni tekhnika ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli»* [Collection of scientific works of KhSUFTT «Progressive techniques and technologies of food production of restaurant economy and trade»], vol. 1 (9), pp. 238–243.
8. Postnov, H. M., Yakovliev, O. V., Chervonyi, V. M., Chekanov, M. A. (2015). *Enerhetychnyi vplyv ultrazvukovoi obrobky na intensyfikatsiiu protsesu solinnia okeanichnoi ryby* [Energy impact of ultrasonic treatment on intensification of ocean fish salting process]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka* [Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko], vol. 166, pp. 180–186.
9. Postnov, H. M., Chekanov, M. A., Chervonyi, V. M., Yakovliev, O. V. (2014). *Elektrokhimichniyi metod vyznachennia shvydkosti perebihu masoobminnykh protsesiv pid chas zasolennia okeanichnoi ryby* [Electrochemical method for determining the rate of mass transfer processes during ocean fish salinization]. *Zb. nauk. prats Khark. derzh. un-t kharchuvannia ta torhivli «Prohresyvni tekhnika ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli»* [Collection of scientific works of KhSUFTT «Progressive techniques and technologies of food production of restaurant economy and trade»], vol. 1 (19), pp. 153–160.
10. Dimova, V. V., Ershov, A. M., Grohovskij, V. A., Ershov, M. A. (2006). *Teoreticheskie osnovy processa posola ryby i raschjot prodolzhitel'nosti prosalivaniya* [The theoretical basis of the process of salting fish and calculating the duration of salting]. *Vestnik MGTU* [Bulletin of MSTU], vol. 9, no. 5, pp. 730–741.

Objective. *The purpose of the article is to improve the method of salting water-hole fish using ultrasonic treatment. The study of the corresponding process will allow to obtain optimal parameters that contribute to the intensification of the technological process of the ambassador.*

Methods. *In the research process, experimental research methods were used using instrumentation of appropriate accuracy, standard research methods for food raw materials, modern methods of mathematical statistics.*

Results. *It is proposed for salting fish to use a magnetostrictive transducer with a resonant radiation frequency of 30 kHz and an experimental setup based on the UZD-2T dispersant. The energy distributions in fish during salting were determined using ultrasound by studying the temperature thermal distribution over the volume of a pond fish sample. In order to determine the effect of ultrasonic treatment on the kinetics of the average salinity of fish and to study the dynamics of NaCl diffusion in fish by acetic salting, experimental studies were conducted to determine the physicochemical parameters of salted fish, i. e., the concentration of NaCl. Experimental studies were conducted to identify the effect of ultrasonic quitting on the duration of salting and quality indicators of pond fish. The obtained rational indicators of the corresponding salting process using ultrasonic processing at a frequency of 30 kHz: for silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* val — salting duration $\tau = 24... 36$ h, salinity of the finished fish $S = 7... 10$ %, for grass carp *Ctenopharyngodon idella* — $\tau = 30... 42$ h, $S = 8... 10$ %, for carp *Cyprinus carpio* — $\tau = 18... 24$ h, $S = 7... 9.5$ %. It has been established that the use of ultrasonic vibrations can reduce the duration of salting up to 42 %, which will increase the productivity of technological lines for processing pond fish.*

Key words: *water-hole fish, ambassador, diffusion coefficient, ultrasound, frequency, energy, thermal distribution, dispersion.*

¹ Мелітопольський інститут державного та муніципального управління «Класичного приватного університету» м. Мелітополь, Україна, e-mail: yanakov@i.ua

МЕТОДИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ТЕОРІЇ ПРИГОТУВАННЯ ТІСТА

UDC 664.653.122:664.653.124

Yanakov V. P., PhD in Engineering science¹

¹ Melitopol Institute of Federal And Municipal Administration of the Classical Private University (Melitopol, Ukraine), e-mail: yanakov@i.ua

METHODICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF DOUGH PREPARATION THEORY

Мета — викладення теорії приготування тіста у навчальному процесі закладів вищої освіти (ЗВО).

Методи. У роботі використано сучасні методи порівняльного аналізу, моделювання систем, викладення наукових досліджень.

Результати. Завдання вискоєфективних виробництв — створення обладнання, придатного вирішати багатоманітні правила технологій, що використовуються. Виготовлення продукції в асортименті проводиться на механізованих лініях, які допускають у межах певних груп трансформуватися на виготовлення єдиного чи якого-небудь виду продукції. Схеми других виробництв можуть розходитися в деталях, але операції технологічних процесів здійснюються в однаковій систематичності. У харчових технологіях користуються двома видами поточних ліній, які різняться ступенем механізації. Метою підготовки фахівців інженерних спеціальностей є формування у них здібності самостійно вирішувати питання хлібопекарних, макаронних, кондитерських та переробних технологій. Запропоновані наукові дослідження спрямовані на викладення фундаментальних дисциплін та розгляд знань спеціалізованих і вискоєфективних виробництв. Сформульовані напрями новітніх досліджень підготовки спеціалістів інженерних спеціальностей. Даний підхід спирається на можливість володіння інструментами освіти та характеризується ступенем підготовки інженерів. Системний підхід методики вивчення теорії приготування тіста сформовано на застосуванні: логістичного аналізу, комплексного підходу науки процесів та апаратів, організації і технології обслуговування в готелях, стандартизації в готелях. Формування цього наукового напрямку передбачає підготовку та володіння знаннями науково-технічного розвитку головних напрямів теорії приготування тіста.

Ключові слова: тісто, технологія, процес, енергетичний вплив, теорія приготування тіста, педагогіка, університет.

Постановка проблеми. Метою підготовки фахівців інженерних спеціальностей є формування у них здатності самостійно вирішувати питання хлібопекарних, макаронних, кондитерських та переробних виробництв. Вони володіють знаннями ключових проблем науково-технічного розвитку теорії приготування тіста [1–3]. Володіння сучасними досягненнями науково-технічного прогресу полягає в такому:

- здійснювати вибір, виконувати ключові розрахунки, конструювати основні параметри типових вузлів обладнання;
- оцінювати та складати необхідну технічну документацію про технічний стан обладнання, технологічних ліній та комплексів, що експлуатуються;
- удосконалювати діючі харчові та переробні виробництва на базі системного підходу до аналізу якості сировини і вимог до готової продукції;
- організовувати, проводити розрахунки, дотримуватися профілактичних і ремонтних режимів роботи обладнання в умовах діючого виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання високоефективних виробництв — створення обладнання, здатного вирішувати різноманітні вимоги технологій, що використовуються. Розвиток цього наукового напрямку ґрунтується на застосуванні: логістичного аналізу, комплексного підходу процесів та апаратів, організації і технології обслуговування в готелях, стандартизації в готелях. Їх взаємозв'язок зводиться у системний підхід методології досліджень приготування тіста.

М. А. Окландер та інші вчені [4,5] проводили дослідження основних завдань, які стоять перед логістикою харчової промисловості та машинобудуванням. Дослідження були сфокусовані на планування, організацію і контроль усіх видів діяльності, які забезпечують проходження матеріального потоку. Ними були одержані дані з переміщення і складування від пункту закупівлі сировини до пункту кінцевого споживання і відповідного інформаційного потоку. Але у дослідженнях не висвітлено управління потоком матеріалів і товарів від зовнішнього джерела до споживача.

І. Ф. Малежик [6] досліджував технологію приготування тіста. Дослідження були спрямовані на ведення процесу керування тістомісильних машин та агрегатів. Були одержані дані з координації цілей і вимог при чіткому рівні мінімальних витрат, управлінні енергетичними потоками, від конструкції харчового обладнання. Не було проаналізовано показники складових рецептурних компонентів. У дослідженнях не описано роль якісно-утворюючих та структуроутворюючих процесів тіста.

В. В. Архіпов та інші вчені [7,8] перевіряли вплив організації готельного господарства та здійснюваних технологій на універсалізацію процесу планування, управління і контролю ефективності споживчих якостей готової продукції. Дослідження були спрямовані на опрацювання показників різноманітних видів хліба, батонів та здоби. Ним одержані дані з класифікації підприємств цієї галузі згідно з особливостями діяльності. У дослідженнях не вивчалась організація виробництва хлібопекарської, макаронної та кондитерської продукції в межах мережі готелів.

Л. Г. Лук'янова, Т. Т. Дорошенко, І. М. Мініч та інші вчені [9–11] впроваджували сучасні заходи в уніфікації готельних послуг, зв'язаних з приготуванням тіста. У ході досліджень були отримані дані із застосування нових та перспективних технологій в індустрії готелю. Один із напрямів удосконалення вивчення показників випічки продукції, що випускається. У дослідженнях не вивчався взаємозв'язок атрибуту готельних послуг та якості харчування клієнтів.

Сформульовані напрями сучасних досліджень підготовки фахівців інженерних спеціальностей. Такий освітній підхід ґрунтується на можливості володіння інструментами науки. Засновані на системному підході методики вивчення теорії приготування тіста. Наведені наукові дослідження спрямовані на викладення прикладних дисциплін, аналіз знань хлібопекарних, макаронних, кондитерських та переробних виробництв, що визначають рівень підготовки інженерів [4–11].

Виклад основного матеріалу дослідження. У харчових технологіях використовують два види поточних ліній, які відрізняються ступенем механізації. Виробництво продукції в асортименті проводиться на механізованих лініях, які дозволяють у межах асортиментних груп переходити на виробництво будь-якого виду продукції. Схеми інших виробництв можуть відрізнятися деталями, але операції технологічних процесів відбуваються, в однаковій послідовності [1–3].

Масові види продукції — батони, формовий і круглий подовий хліб — виробляють на спеціалізованих комплексно-механізованих та автоматизованих лініях. Основною сировиною для виробництва хліба є пшеничне і житнє борошно, а також питна вода. Як додаткову сировину використовують дріжджі, сіль, цукор, жири та інші харчові добавки. Основним процесом хлібопекарного виробництва є заміс і бродіння рецептурної суміші та тіста.

Розглянемо машинно-апаратну схему лінії для виробництва подового хліба із пшеничного борошна першого гатунку масою 0,5 кг (рис. 1).

Борошно поставляють на харчове виробництво в автоборошновозах, після чого ємності під тиском по трубах завантажують у силоси на збереження. Додаткову сирови-

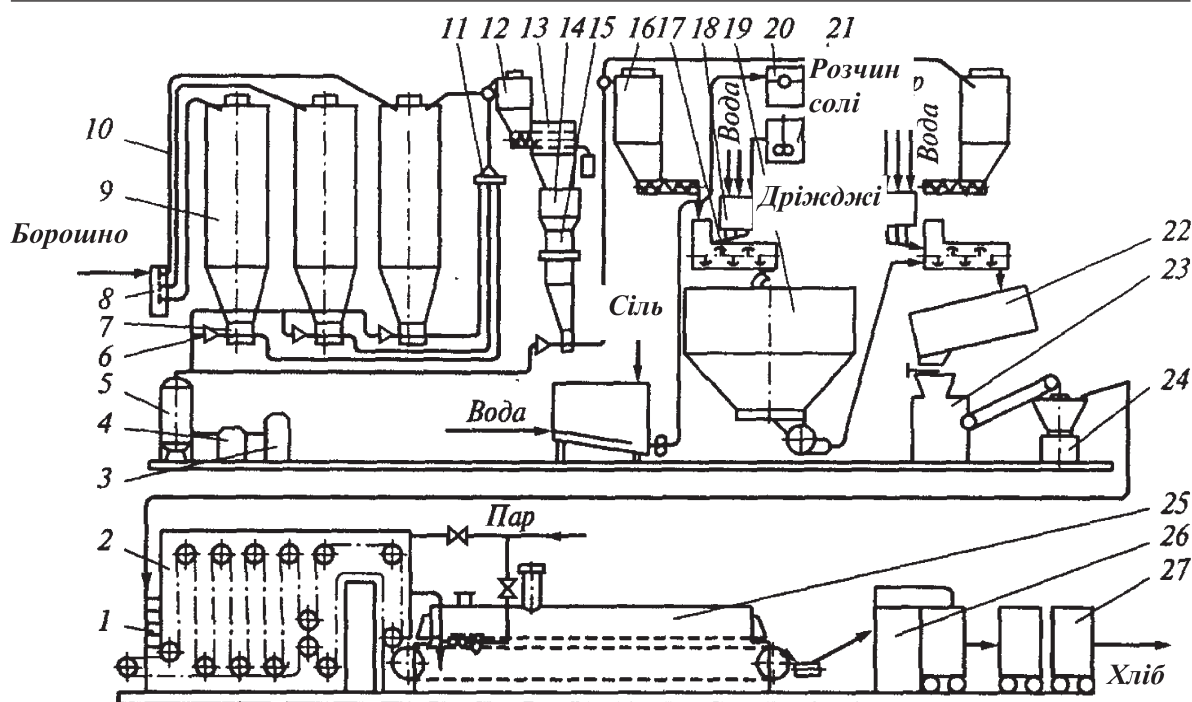


Рисунок 1 — Машинно-апаратна схема лінії виробництва подового хліба із пшеничного борошна першого гатунку масою 0,5 кг:

1 — маятниковий укладач; 2 — шафа для відстоювання; 3 — повітряний фільтр; 4 — компресор; 5 — ресивер; 6 — ультразвукове сопло; 7 — роторний дозатор; 8 — приймальний щиток; 9 — силоси; 10 — трубопроводи; 11 — перемикачі; 12 — бункер; 13 — просіювач; 14 — проміжний бункер; 15 — ваги; 16 — виробничі силоси; 17 — тістомісильна машина; 18 — дозатор; 19 — бункерний агрегат; 20—21 — ємкості для додаткової сировини; 22 — ємкість; 23 — тістоділильна машина; 24 — округлювальна машина; 25 — пекарна піч; 26 — укладач; 27 — контейнери.

ну — розчин солі і дріжджів зберігають у ємкостях 20 і 21. Під час роботи лінії борошно і з силосів 9 розвантажують у бункер 12. Очищення від сторонніх домішок здійснюється на просіювачі 13, обладнаному магнітним уловлювачем, а потім завантажують через проміжний бункер 14 та автоматичні ваги 15 у виробничі силоси 16.

У даній лінії для одержання якісного хліба використовують двофазний спосіб приготування тіста. Перша фаза — приготування опари, яку замішують у тістомісильній машині 17. У ній дозують борошно з виробничого силоса 16, воду певної температури і дріжджову емульсію подає дозатор 18. Для замішування опари використовують від 30 до 70 % борошна. З машини 17 опару завантажують у шестисекційний бункерний агрегат 19.

Під час замішування переміщуються компоненти, суміш піддається механічній обробці, формується губчастий каркас тіста. Бродіння тіста проходить у результаті дії дріжджів, молочнокислих й інших бактерій. Під час бродіння в тісті відбуваються мікробіологічні і ферментативні процеси, які змінюють його фізичні властивості. Також накопичуються ароматичні та смакові речовини, які визначають споживчу цінність хліба.

Після бродіння протягом 3,0–4,5 год опару з машини 19 дозують на другу тістомісильну машину з одночасним подаванням решти борошна, води і розчину солі. Друга фаза приготування тіста закінчується його бродінням в ємкості 22 протягом 0,5–1,0 год. Тісто стікає з ємкості 22 у тістоділильну машину 23, для одержання порцій тіста однакової маси. Оброблення порцій тіста в округлювальній машині 24 — утворюються тістові заготовки кулеподібної форми, що поміщують у шафу 2 для відстоювання.

Відстоювання заготовок проводиться упродовж 35–50 хв. При відстоюванні внаслідок бродіння структура тістових заготовок стає пористою, об'єм їх збільшується в 1,4–1,5

разів, а густина зменшується на 30–40 %. Заготовки тіста набувають рівної гладкої еластичну поверхні. На вхідній дільниці пекарної камери 25 заготовки 2–3 хв. піддаються гідротермічному оброблянню зволожувальним пристроєм за температури 105–110 °С.

У процесі руху тістові заготовки проходять усі теплові зони пекарної камери, де випікаються упродовж 20–55 хв, який відповідає технологічним вимогам на даний вид хліба. Випечені вироби за допомогою укладача 26 завантажують у контейнери 27 і направляють на реалізацію. Обладнання, яке використовується на харчовому виробництві, відповідає сертифікатам та виготовлене із матеріалів, які не піддаються корозії та окисленню.

Одним із напрямів методичного підходу хлібопекарних, макаронних, кондитерських та переробних виробництв є впровадження даних теоретичних та експериментальних досліджень у навчальний процес. При цьому завдання, яке стоїть перед майбутніми інженерними фахівцями — створення ефективного обладнання. Ці питання є підґрунтям під час підготовки студентів та опираються на викладення прикладних дисциплін, що продемонстровано алгоритмом, показаним на рис. 2.

Предмети «Логістика», «Процеси і апарати», «Організація та технологія обслуговування в готелях (Організація готельного господарства)», «Стандартизація в готелях» належать до групи спеціальних навчальних дисциплін. Вони найважливіші для підготовки студентів до виробничо-технічної, проектно-конструкторської діяльності, пов'язаної зі створенням та експлуатацією обладнання для приготування тіста. Дослідимо їх розвиток за цим напрямом педагогічної та наукової діяльності.

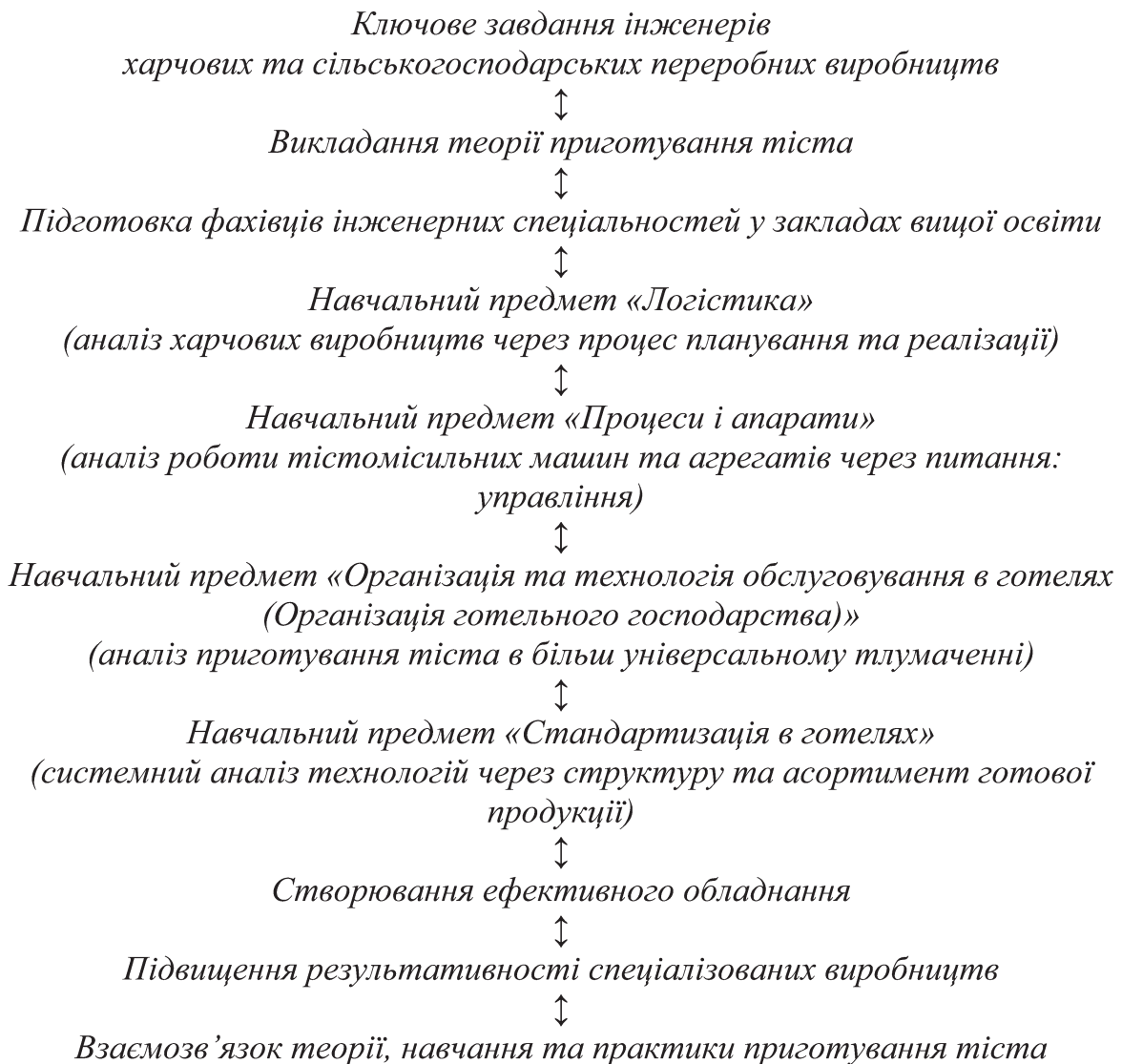


Рисунок 2 — Етапи підготовки студентів

Предмет «Логістика» [4, 5] розглядає у харчових виробництвах процес планування, управління та реалізації ефективним, економічним рухом, аналізом рецептурної сировини, технологій, продукції, що випускається. Концепція інтегрованої функції керування економічною системою виробництва пов'язана з інформацією та цілями створення продукції задля забезпечення відповідності вимогам споживача.

Метою вивчення предмета «Логістика» є:

1. Аналіз функціонування технологій замісу. Розгляд та синтез інтегрованої форми логістичної системи, виконання якої потрібно на для багаторазове оброблення даних та приготування тіста.

2. Пошук підвищення ефективності роботи тістомісильних машин та агрегатів. Оцінка організаційно-управлінських механізмів технічного стану обладнання, технологічних ліній та комплексів підвищує їх результативність.

3. Вирішення різноманітних проблем приготування тіста при замісі. Вдосконалення ресурсопотокових процесів за енергетичного впливу на рецептурні суміші та тіста, можуть бути використані концепції, філософії, методології.

Предмет «Процеси і апарати» [6] вивчає роботу тістомісильних машин та агрегатів, а саме: управління, планування, координацію, організацію, реалізацію. Реалізується через цілеспрямовану діяльність, що здійснюється у взаємозв'язку: облік, контроль, аналіз, регулювання енергетичного впливу на тісто. Направлено на виготовлення відмінної та конкурентоспроможної продукції, що випускається. Метою вивчення предмета «Процеси і апарати» є:

1. Визначення можливості керування процесом замісу тіста. Функція управління потоком енерговитрат, через інтеграцію процесів перемішування та супутніх, фігурує у конфігурації комплексного підходу під час приготування тіста.

2. Спроможність управління технологією перемішування тіста. Структуроутворюючі та якісноутворюючі процеси взаємопов'язані з процесами перемішування в системі: організації, реалізації організації, реалізації.

3. Програмування на стадії виготовлення тіста. Пошук організаційно-управлінських резервів підвищення ефективності такого керування, яке приведе до виготовлення продукції, що випускається.

Предмет «Організація та технологія обслуговування в готелях (Організація готельного господарства)» [7, 8] розглядає приготування тіста в більш універсальному тлумаченні. Додавши до асортименту продукції, що випускається, послуги з урахуванням потреб споживачів, отримуємо новий підхід. Він полягає у підвищенні результативності збуту готової продукції, спрямоване на цілковите задоволення попиту споживачів. Метою вивчення цієї дисципліни є:

1. Здатність керування процесом замісу тіста. Позиції філософської та математичної логіки, пов'язаної з використанням математичного апарату для вирішення різноманітних проблем технологій обслуговування в готелях.

2. Можливість керування процесом організації обслуговування в готелях. Концепція економічної функції, інтегрованої у формі системи технологій процесів перемішування тіста і готової продукції, визначається прибутковістю.

3. Управління технологіями в умовах готелю. Цілковите задоволення попиту споживачів, основане на максимальній різноманітності готової продукції, здійснюється під час вибору обладнання за основними параметрами та виконанням ключових розрахунків.

Предмет «Стандартизація в готелях» [9–11] розглядає системний аналіз технологій через структуру, якість та асортимент продукції, що випускається. Одне з основних завдань, яке стоїть перед готелем — створення стандартів обслуговування. Розширення асортименту готової продукції, виготовленої з однієї рецептурної сировини на основі використання прогресивних технологій, здійснюється на високоефективному обладнанні. Метою вивчення даної дисципліни є аналіз:

1. Планування, організації та контролю процесів стандартизації в готелях. Напрямом їх забезпечення є інтегрування інформаційного потоку від споживачів до можливостей технологічного обладнання.

2. Вирішення різноманітних проблем організації готелів. Міждисциплінарний підхід пов'язаний з харчовими технологіями, виконанням обслуговування та логістичних систем інтеграції процесів.

3. Розроблення сучасних методичних підходів роботи готелів. Стандартизація хлібопекарських, макаронних та кондитерських виробництв і переробки сільськогосподарської продукції є перспективним напрямом технологій готелів.

Сформульовані напрями досліджень у навчальних дисциплінах «Логістика», «Процеси і апарати», «Організація та технологія обслуговування в готелях (Організація готельного господарства)», «Стандартизація в готелях» [4–11]. Напрямок сучасної педагогічної та наукової діяльності засновано на системному підході вивчення теорії приготування тіста, викладення знань новітніх технологій, що визначають рівень підготовки інженерів.

Перспективою досліджень є можливість викладання у навчальному процесі вищого навчального закладу методів теорії приготування тіста при використовуванні різноманітних методів. Ґрунтується на звичайній систематичності отримання знань у навчальному процесі. Забезпечується адаптацією, аналізом та коригуванням викладання спеціалізованих дисциплін. Основи новітніх здобутків науки і техніки визначаються формою мислення інженерів.

Висновки. Проведені дослідження інтегрування академічних дисциплін у підготовку фахівців інженерних спеціальностей. Викладення теорії приготування тіста у навчальному процесі дає взаємозв'язок теоретичної та практичної підготовки випускників. Мінімізацію витрат виробництва можливо виконувати на базі освітнього підходу. Обладнання цих підприємств забезпечує реалізацію та переробку максимально різноманітної готової продукції.

Список літератури

1. Янаков В. П. Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв : авторські тези [Обґрунтування параметрів та режимів роботи тістомісильної машини періодичної дії : автореф. дис. 05.18.12. канд. техн. наук]. Донецьк, 2011, 20 с.
2. Янаков В. П., Возняк А. В. Аналіз комплексних досліджень технологій замісу хлібопекарського тіста. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2019. № 1 (38). С. 85–94.
3. Янаков В. П., Возняк А. В., Ланже О. Вдосконалення теорії приготування тіста при викладенні спеціалізованих дисциплін. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2019. №2 (39). С. 85–94.
4. Окландер М. А. (2008). Логістика. Київ, Центр учбової літератури, 346 с.
5. Крикавський Є. В. Логістика. Основи теорії :навчальний посібник. Львів : Національний університет «Львівська політехніка» (Інформаційно-видавничий центр «ІНТЕЛЕКТ+» Інституту післядипломної освіти) ; Інтелект-Захід, 2004. 416 с.
6. Смирнов І. Г. Логістика туризму : навчальний посібник. Київ : Знання, 2009. 444 с.
7. Малезик І. Ф., Циганков П. С. Процеси і апарати харчових виробництв / за редакцією І. Ф. Малезика. Київ : НУХТ, 2003, 400 с.
8. Архіпов В. В. Організація ресторанного господарства : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 280 с.
9. Нечаюк Л. І., Нечаюк Н. О. Готельно-ресторанний бізнес: менеджмент : навчальний посібник. Київ. : Центр навчальної літератури, 2006. 280 с.
10. Лук'янова Л. Г., Дорошенко Т. Т., Мініч І. М. Уніфіковані технології готельних послуг : навчальний посібник / за редакцією В. К. Федорченко. Київ, Вища школа, 2001. 237 с.
11. Сергеева Л. Н., Бакурова А. В., Воронцов В. В., Зульфугарова С. О. Моделювання структури життєздатних соціально-економічних систем : монографія. Запоріжжя : КПУ, 2009. 200 с.

References

1. Yanakov, V. P. (2011). *Protsesy ta obladnannia kharchovykh, mikrobiolohichnykh i farmatsevychnykh vyrobnytstv* [Processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical production. In Rationale of parameters and operating modes of the kneading machine periodic action. Abstract PhD technical science]. Donetsk, 20 p.
2. Yanakov, V. P., Vozniak, A. V. (2019). *Analiz kompleksnykh doslidzhen tekhnolohii zamisu khlibopekarskoho tista* [Dough baking technologies complex research analysis]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], no. 1 (38), pp. 85–94.
3. Yanakov, V. P., Vozniak, A. V., Lange, O. (2019). *Analiz kompleksnykh doslidzhen tekhnolohii zamisu khlibopekarskoho tista*. [Dough baking technologies complex research analysis]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], no. 2 (39), pp. 36–43.
4. Oklander, M. A. (2008). *Lohistyka* [Logistics]. Kyiv, Center of Educational Literature, 346 p.
5. Krikavskiy, E. V. (2004). *Lohistyka. Osnovy teorii* [Logistics. Theory Fundamentals]. Lviv, National University «Lviv Polytechnic» information and publishing Center «INTELLIGENCE + « Institute of postgraduate education. «Intelligence-West, 416 p.
6. Smirnov, I. G. (2009). *Lohistyka turyzmu* [Tourism Logistics]. Kyiv, Znannia Publ., 444 p.
7. Malezhik, I. F., Tsyhankov, P. S. (2003). *Protsesy i aparaty kharchovykh vyrobnytstv* [Processes and devices of food industries]. Kyiv, NUFI Publ., 400 p.
8. Arkhipov, V. V. (2007). *Orhanizatsiia restorannoho hospodarstva* [Organization of restaurant management]. Kyiv, Center of Educational Literature, 280 p.
9. Nechayuk, L. I., Nechayuk, N. O. (2006). *Hotelno-restoranni biznes: menedzhment* [Hotel and Restaurant business: management]. Kyiv, Centre of educational literature, 280 p.
10. Lukyanova, L. G., Doroshenko, T. T., Mynich, I. M. (2001). *Unifikovani tekhnolohii hotelnykh posluh* [Unified Technology of hotel services]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 237 p.
11. Sergeeva, L. N., Bakurova, A. V., Vorontsov, V. V., Zulfugarova, S. O. (2009). *Modeliuvannia struktury zhyttiezdatnykh sotsialno-ekonomichnykh system* [Modelling the structure of viable socio-economic systems]. Zaporizhia, KPU Publ., 200 p.

Objective. *Experts of engineering specialties play a crucial role in bakery, pasta, confectionery and processing. The constant improvement of their professional level of training depends on the presentation of the theory of the preparation of the test in the educational process of higher education institutions.*

Methods. *The research uses modern methods of comparative analysis, system modeling, and scientific research.*

Results. *The task of high-performance productions is to create equipment capable of meeting the various requirements of the technologies used. The production of the range of products is made on mechanized lines. Within the submitted groups, a change in the manufacture of one or any type of product is allowed. Schemes of other productions can differ in detail, but the operations of technological processes are carried out in a systematic way. Food technologies use two types of flow lines, which are separated by the stage of mechanization. The aim of training engineering experts is to develop their ability to independently solve the problems at the bakery, pasta, confectionery and processing plants. Scientific research aimed at presenting fundamental disciplines and analyzing the knowledge of specialized and applied industries. The directions of new research on the training of engineering experts have been formulated. This approach is based on the ability to own the tools of education and the degree of training of engineers. The systematic approach of the method of studying the theory of test preparation is based on application: logistical analysis, a comprehensive approach of processes and devices, organization and service technologies in hotels, standardization in hotels. The development of this scientific direction, based, as a result, on the preparation and possession of their knowledge of key areas of scientific and technical development of the theory of dough preparation.*

Key words: *dough, technology, process, energy impact, dough preparation theory, pedagogy, university.*

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -40-1-66-79

УДК 664.6/.7: (681.51+005.52) (045)

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

Коренець Ю. М., старший викладач¹

Копайгора О. К., асистент¹

Ткач М. С., магістр¹

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

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ФАБРИКА З ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

UDC 664.6/.7: (681.51+005.52) (045)

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

Korenets Yu. M., Senior Lecturer¹

Kopayhora O. K., assistant Professor¹

Tkach M. S., Master¹

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

INTELLECTUAL FACTORY FOR BAKERY PRODUCTION

Мета — удосконалення конструкції технологічного обладнання для виробництва хлібобулочної продукції за рахунок використання інтелектуальних систем управління виробництвом. Означена мета конкретизується у таких завданнях, як проведення аналізу існуючого обладнання для виробництва хлібобулочних виробів, обґрунтування вибору обладнання хлібозаводу з огляду на мінімізацію шкідливого впливу на навколишнє середовище, дослідження теоретичних основ побудови інтелектуальних систем управління хлібозаводом та розробка інтелектуальної системи управління процесами у виробництві хлібобулочної продукції.

Методи. Методи дослідження базуються на теоретичному та експериментальному визначенні робочих характеристик системи «опара → тісто → випікання» в умовах впливу кавітаційних процесів.

Результати. Розроблено інтелектуальну систему автоматизованого управління виробництвом хлібобулочної продукції, у якій аналіз збурень сировини, води та обладнання виконано за допомогою системи моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання. Побудова адаптивних систем керування дозволяє синтезувати нечіткі регулятори для елементарних операцій технологічних процесів виробництва хліба з урахуванням нелінійності об'єкта керування. Відпрацювання еталонного завдання в умовах невизначеності зовнішніх і внутрішніх збурень, які не контролюються датчиками, може бути оцінено експертною системою формування законів керування технологічним процесом виробництва хліба. Врахування знань і навичок операційного персоналу в експертній системі управління з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання та якості сировини, у тому числі води, дозволяє побудувати робастні інтелектуальні системи управління хлібозаводом з оптимізацією його параметрів продуктивності та мінімізацією питомих енерговитрат.

Ключові слова: хліб, опара, тісто, випікання, інтелектуальна система управління, кавітація, теплові процеси, роторна піч.

Постановка проблеми. Сучасний стан хлібопекарської галузі в Україні характеризується пропозицією значного асортименту хлібобулочної продукції з надійним її поста-

Надійшла до редакції 02.04.2019 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,
О. К. Копайгора, М. С. Ткач, 2020

чанням. В умовах масштабного та масового виробництва харчову безпеку та відповідність системі НАССР можна забезпечити за рахунок упровадження новітніх систем інтелектуального управління виробничими процесами з використанням робототехніки та впровадженням технологій штучного інтелекту [1].

Незважаючи на те, що сьогодні розповсюджені впровадження інноваційного обладнання хлібопекарень, інтелектуалізація процесів виробництва хлібобулочних виробів, на наш погляд, не достатньо вивченими залишаються такі питання, як:

- цифровізація виробничих процесів;
- управління життєвим циклом продукції з лікувально-профілактичними властивостями;
- розроблення алгоритмів управління інтелектуальним виробничим процесом з випікання хліба для територіях з техногенним тиском і перевищеним рівнем CO₂ [2].

Це пояснюється, зокрема, відсутністю надійних проектних рішень щодо розроблення технологічного обладнання з робототехнічними пристроями в системі «опара → тісто → випікання», що підтверджує необхідність їх детального вивчення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій вітчизняних учених Л. Я. Ауермана, Л. А. Злобіна, А. В. Соколова, А. Т. Лисовенка, В. Г. Мирончука, С. С. Шаруди, Т. В. Гавриша свідчить про недостатньо розглянуті питання комп'ютерного моделювання процесу випікання хліба та робочих характеристик операційної системи «опара → тісто → випікання».

Викладене вище зумовлює актуальність обраної теми дослідження, спрямованого на розроблення технологій та обладнання з цифровим управлінням виробництвом хлібобулочних виробів у системі інтелектуальної фабрики з виробництва хлібобулочних виробів.

Мета статті — удосконалення конструкції технологічного обладнання для виробництва хлібобулочної продукції за рахунок використання інтелектуальних систем управління та ультразвукових технологій.

Означена мета конкретизується у таких завданнях:

- проведення аналізу існуючого обладнання для виробництва хлібобулочних виробів;
- обґрунтування вибору обладнання хлібозаводу з огляду на мінімізацію шкідливого впливу на навколишнє середовище;
- дослідження теоретичних основ побудови інтелектуальних систем управління хлібозаводом;
- розроблення інтелектуальної системи управління процесами контролю якості інгредієнтів, виробництва опари, тіста та випікання хліба, у тому числі цифрової адаптивної системи управління роторною піччю.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні ринок обладнання для хлібозаводів формується в єдиному інформаційному полі з ринком хлібобулочних виробів та ринками інших галузей: харчової промисловості з подібними технологічними процесами, металургії та металообробки, машинобудування, хімічної промисловості, цифрових технологій та засобів зв'язку. Також на ринок хлібопекарського обладнання значною мірою впливає мережа проміжних та кінцевих споживачів хлібобулочної продукції [3].

Структура ринку визначається стадіями технологічного процесу виробництва хліба за асортиментними групами та їх розподілом між суб'єктами ринку хлібобулочних виробів різного рівня.

Основними характеристиками ринку хлібопекарського обладнання є:

1. Складність інформаційного поля, що допускає величезну кількість взаємодій з іншими галузевими кластерами. Але це сприяє розвитку бізнесу за рахунок трансферу технологій із суміжних сфер знань та створює умови розвитку виробництва безпечних продуктів харчування для промислових регіонів з техногенним навантаженням. Це зумовлено значною кількістю технологічних процесів, що використовуються у виробництві хлібобулочних виробів (транспортування рідких і сипучих компонентів, гомогенізація сумішей, ферментація під час приготування тіста, формування тістових заготовок, випікання та довипікання, нарізання, охолодження та заморожування, пакування, первинне та

вторинне транспортування напівфабрикатів та готової продукції, завантажувально-розвантажувальні операції тощо).

2. Ринок має інтернаціональний характер. Деякі українські хлібозаводи побудовані за участю фахівців з Німеччини, Італії, Франції, США. Компанії цих країн забезпечують продаж та постачання технологічного обладнання з подальшим технічним обслуговуванням, навчання персоналу, інформаційно-роз'яснювальну роботу серед споживачів тощо. Така кооперація дозволяє значно знизити ризики, пов'язані з наявністю на ринку великої кількості конкурентів, а також залежністю виробників хліба від постачальників борошна, питної води, інших інгредієнтів, енергоносіїв та з обслуговуванням обладнання.

3. Суттєвий вплив на ринок здійснює динамічний характер розвитку галузі та зміни попиту населення, розширення асортименту та зростання показників якості хлібобулочних виробів, залежність від зовнішньоекономічних показників, які впливають на купівельну спроможність.

Порівняльний аналіз рівня світового обладнання та обладнання, яким оснащені хлібозаводи України, показав, що українські машинобудівники потребують державної підтримки щодо розроблення інтелектуальних заводів з виробництва хліба. У першу чергу це пов'язано з недостатньою підтримкою дослідницько-конструкторських робіт, які потребують значних витрат. Проте їх виконання пов'язане з ризиками в умовах невизначеності щодо одержання обладнання світового рівня.

Створення інтелектуальних підприємств сьогодні є одним із головних світових трендів, який значною мірою стимулюється швидким зростанням кількості інформаційних ресурсів та послуг, які надаються у сфері інтернету речей (або англійською «Internet of Things», скорочено — IoT). IoT — це концепція комунікації об'єктів («речей»), які використовують технології для взаємодії між собою та з навколишнім середовищем. Також ця концепція передбачає виконання пристроями певних дій без втручання людини. Таким чином, усі пристрої в будинках, в автомобілях, на користувачах виконують оброблення інформації, її аналіз та обмін між собою та, залежно від результатів, приймають рішення і виконують певні дії [4].

На сьогодні висока конкуренція на товарних ринках стимулює підприємства до об'єднання з метою виживання. Віртуальне підприємство можна визначити як кооперацію юридично незалежних організацій та індивідуумів, які виконують певні технологічні процеси, виробляють продукцію та надають послуги в межах загального бізнес-процесу. У зовнішньому світі віртуальне підприємство виступає як єдина організація, у якій використовуються методи управління і адміністрування, основані на використанні сучасних Інтернет-технологій, цифрової економіки та інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ).

Отже, метою створення віртуального підприємства є об'єднання виробничих, технологічних, інтелектуальних та інвестиційних ресурсів для розроблення і просування на ринок нових товарів і послуг. Оскільки кожне реальне підприємство в рамках віртуального виконує лише частину робіт із загального технологічного ланцюга, то під час його створення вирішуються два головних завдання:

- декомпозиція загального бізнес-процесу на компоненти (підпроцеси);
- вибір раціонального складу реальних підприємств-партнерів, які будуть виконувати технологічний процес.

Перше завдання може бути вирішено з використанням методів системного аналізу. Для розв'язання другого можуть бути використані засоби мультіагентних технологій.

Завдання оптимального розподілу загального комплексу робіт (підпроцесів) серед багатьох співробітників (підприємств) у дослідженні операцій формується як завдання про призначення [5]. Його вирішення розпочинається з формування множини процесів, далі здійснюється вибір найбільш раціонального відображення, яке відповідає конкретним призначенням підприємств щодо бізнес-процесів. З цією метою використовуємо механізм аукціону.

На рис. 1 подано схему аукціону щодо створення інтелектуального підприємства, у якому виділено бізнес-процеси *A, B, C, D, E*. У реалізації цих бізнес-процесів беруть участь чотири технологічні лінії (підприємства) з виробництва хлібобулочних виробів:

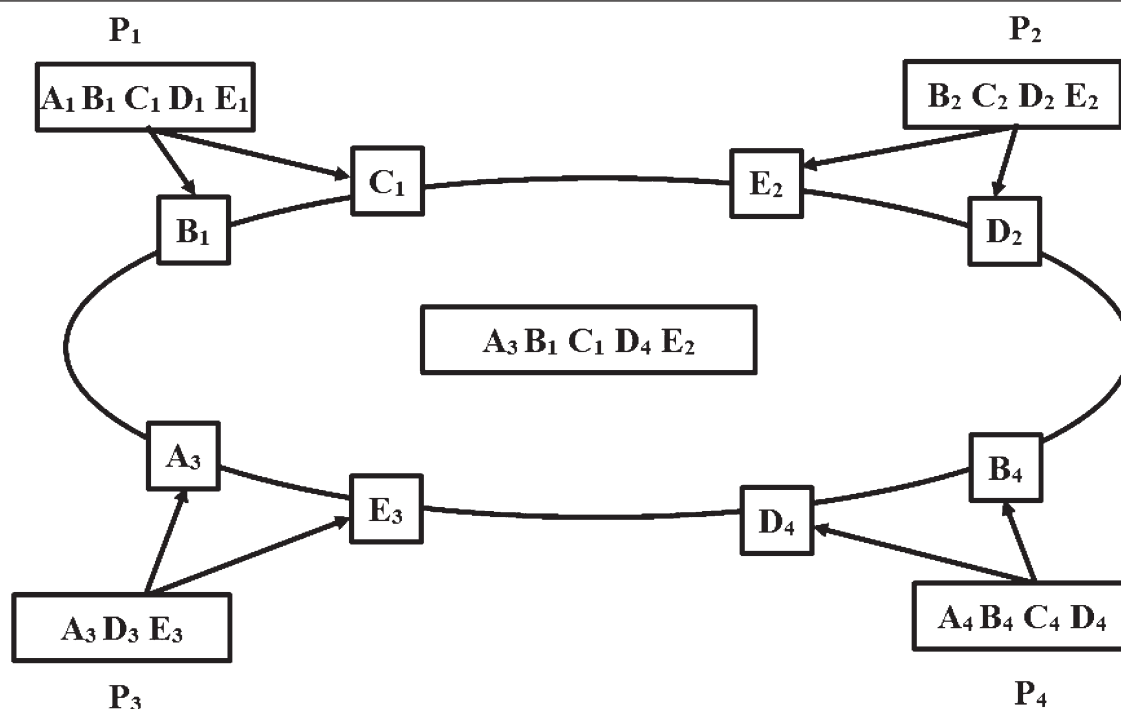


Рисунок 1 — Схема створення інтелектуального підприємства

P_1, P_2, P_3, P_4 , які претендують на їх реалізацію. Кожне підприємство представлене інтелектуальним агентом, при цьому одне з них (P_1) виступає в ролі ініціатора (аукціонера). Перед початком аукціону аукціонер (менеджер) формує базу даних і базу знань про учасників аукціону. Потім він виставляє на продаж окремі бізнес-процеси, інформація про які представлена стартовою ціною та вимогами щодо заданого вибору показників. Кожен із претендентів представляє власні пропозиції щодо параметрів, які він може забезпечити та вартості роботи. Після збору та обробки інформації щодо пропозицій аукціонер за допомогою певної моделі роздумів упорядковує потенціальних претендентів з урахуванням власної інформації про них. Після цього він приймає рішення про вибір призначень або відкидає їх і висуває нові пропозиції.

Пояснимо роботу інтелектуального підприємства за допомогою такої моделі:

$$(S, P, Eff, A, Prog, Arch, G, E), \quad (1)$$

де S (sensor) — множина входів, за допомогою яких агент аналізує інформацію із зовнішнього середовища; P (perceps) — інформація, яку одержує агент; Eff (effectors) — множина виходів, за допомогою яких впливає на зовнішнє середовище; A (actions) — реакція агента; $Prog$ (program) — функція, яка визначає залежність реакції агента від вхідних впливів ($Prog: P \rightarrow A$); $Arch$ (architecture) — фізична оболонка, яка об'єднує всі базові елементи агента; G (goal) — цілі, які досягаються агентом; E (environment) — зовнішнє середовище, у якому функціонує агент.

Базова конструкція агента визначається такими характеристиками, як $S, Prog, Eff, Arch$, а його змістовне наповнення забезпечується чинниками P, A, G .

З метою виконання моніторингу робочих характеристик екологічно чистого хліба введемо поняття програмних агентів — спеціалізованих комп'ютерних програм, призначених для виконання певних функцій у системі інтелектуального управління фабрикою з виробництва хлібобулочних виробів.

Для створення інтелектуальної фабрики з виробництва хлібобулочних виробів необхідно побудувати систему моніторингу роботи її ділянок: підготовки інгредієнтів, просіювання (борошна); приготування опари; приготування тіста; процесу випікання хліба в роторних печах; логістики і взаємодії зі споживачами (магазинами, торговими посередниками, закладами ресторанного господарства тощо). Моніторинг здійснюється в режимі реального часу (on-line) за допомогою IoT.

За концептуальну основу моделі системи аналізу характеристик обладнання та технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів було обрано нейромережу прямого розповсюдження інформації. Вона складається з вхідного, вихідного та одного або декількох проміжних шарів нейронів.

Вихід нейрона в шарі $n + 1$ визначається відношенням:

$$y_j^{n+1} = f(S_j^{n+1}), \quad (2)$$

де $n+1$ — номер шару; j — індекс нейрона в шарі $n+1$ ($j = 1, N_{n+1}$), N_{n+1} — кількість нейронів в шарі $n + 1$; f — активаційна функція шару $n+1$ (у нашому випадку будемо використовувати сигмоїдальну активаційну функцію $f(x) = 1/(1 + e^{-\alpha x})$), а для вихідного шару — лінійну $f(x) = \alpha x$; y_j^{n+1} — вихід j -го нейрона шару $n + 1$; S_j^{n+1} — постсинаптичний потенціал j -го нейрона шару, який обчислюється за формулою:

$$S_j^{n+1} = \sum_{k=1}^{N_n} W_k^{n+1} y_k^n + b_j^{n+1};$$

$$S^{n+1} = W^{n+1} \tilde{y}^n, \quad (3)$$

де W_k^{n+1} — вагові коефіцієнти зв'язку K -го нейрона шару n із j -м нейроном шару $n+1$; y_k^n — вихід K -го нейрона шару n ; \tilde{y}^n — розширений вектор з урахуванням порога (bias-нейрона); b_j^{n+1} — bias-нейрон j -го нейрона шару $n+1$.

Основними завданнями моніторингу є регулярне отримання інформації про властивості борошна, опари, тіста та стан технологічного обладнання під час використання в режимі реального часу.

Інтелектуальні системи відрізняються спроможністю вирішувати завдання, що важко піддаються формалізації та структуриванню. Це зумовлено використанням різних методів моделювання міркувань із метою оброблення символічної інформації.

Зазвичай механізми міркувань будуються на правилах (Rule-based reasoning (RBR)), що використовуються в експертних системах продукційного та логічного типів [6]. За такого підходу необхідно, передусім, сформулювати максимально повний набір закономірностей, що характеризують предметну галузь.

Може бути застосований і альтернативний підхід case-based reasoning (CBR), концепція якого полягає у навчанні за прикладами. У цьому випадку під час проектування інтелектуальної фабрики з виробництва хлібобулочних виробів не обов'язково заздалегідь володіти інформацією про усі закономірності такого виробництва, проте потрібно мати достатню кількість прикладів, щоб певним чином налаштувати адаптивну систему управління виробничим процесом. Тобто така система підлягає попередньому навчанню. Потім вона вже самостійно зможе одержувати необхідні результати з визначеним ступенем достовірності.

Як адаптивні системи управління роторною піччю використовують штучні нейронні мережі (ШНМ). Розглянемо їх принцип дії більш детально [7, 8].

Штучні нейронні мережі — це спрощені моделі біологічних нейронних мереж. ШНМ складаються зі штучних нейронів, які являють собою спрощену модель біологічного нейрона. Усе, що робить штучний нейрон — це сприймає сигнали з багатьох входів, обробляє їх єдиним чином та передає результат на багато інших штучних нейронів, тобто робить те саме, що і біологічний нейрон.

Біологічні нейрони пов'язані між собою аксонами, місця стиків називаються синапсами. У синапсах відбувається посилення або ослаблення електрохімічного сигналу. Зв'язки між штучними нейронами називаються синаптичними, або просто синапсами.

Кожен синапс характеризується одним параметром — ваговим коефіцієнтом, залежно від його значення відбувається та чи інша зміна інформації, під час її передавання від одного нейрона до іншого. Саме завдяки цьому вхідна інформація обробляється і перетворюється в результат, а навчання нейронної мережі засноване на експериментальному підборі такого вагового коефіцієнта для кожного синапсу, який і приводить до отримання необхідного результату.

Таким чином, штучний нейрон є дискретно-безперервним перетворювачем інформації. Інформація, яка надходить на вхід нейрона, додається з обліком вагових коефіцієнтів W_i сигналів x_i , $i=1, \dots, n$, де n — розмірність простору вхідних сигналів.

Потенціал нейрона визначається за формулою:

$$P = \sum_{i=1}^n W_i x_i. \quad (4)$$

Зважена сума сигналів (потенціал), що надходять, перетворюються за допомогою передатних функцій $f(p)$ у вихідний сигнал нейрона Y , який передається іншим нейронам мережі, тобто $Y=f(p)$. Вигляд передатної (активаційної) функції є важливою характеристикою нейрона. У загальному вигляді ця функція може бути граничною, лінійною або нелінійною.

Гранична функція пропускає інформацію лише у тому випадку, якщо алгебрична сума вхідних сигналів перевищує деяку сталу величину P^* , наприклад:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{якщо } P \geq P^*; \\ 0, & \text{якщо } P < P^*. \end{cases} \quad (5)$$

У системах, основаних на прецедентах, бази знань (БЗ) зберігають опис конкретних ситуацій (прецеденти). Пошук рішень виконується на основі аналогій і включає такі етапи:

- 1) одержання інформації про поточну проблему;
- 2) зіставлення одержаної інформації зі значеннями ознак прецедентів із БЗ;
- 3) вибір прецеденту із БЗ, найбільш близького до проблеми, що вивчається;
- 4) адаптація обраного прецеденту до поточної проблеми;
- 5) перевірка коректності кожного отриманого рішення;
- 6) внесення детальної інформації про одержання рішення до БЗ.

Прецеденти описуються множиною ознак, за якими будуються індекси швидкого пошуку. Проте у низці систем, заснованих на конкретних випадках, на відміну від індуктивних систем, нечіткий пошук дозволяє отримати багато прийнятних альтернатив, кожна з яких оцінюється певним коефіцієнтом достовірності. Найбільш ефективними вважаємо рішення, адаптовані до реальних ситуацій, побудовані з використанням спеціальних алгоритмів.

Системи, засновані на конкретних випадках, використовуються для поширення знань у системах контекстної допомоги.

Сховище даних — це інтегрований, узгоджений за часом та орієнтований на домен збір даних, що можуть бути використані у процесах прийняття рішень [8]. Інформаційні сховища відрізняються від інтелектуальних баз даних тим, що вони є сховищами значущої інформації, яка регулярно отримується з оперативних баз даних.

Орієнтація на об'єкт означає, що дані згруповані за категоріями та зберігаються відповідно до ділянок (галузей), які вони описують, а не додатків, які їх використовують.

У сховищі дані інтегруються для того, щоб задовольнити вимоги не окремих функцій бізнесу, а компанії загалом.

Прив'язка даних до часу означає, що атрибут часу завжди чітко означений у структурі сховищ даних та зумовлює їх «історичність».

Інваріантність означає, що дані, які знаходяться в структурах зберігання, більше не змінюються на відміну від операційних систем, де дані присутні тільки в останній версії і, отже, постійно змінюються.

Технології вилучення знань зі сховищ даних засновані на методах статистичного аналізу і моделювання, орієнтованих на пошук моделей і зв'язків, які приховані в наборі даних.

Такі моделі можуть надалі використовуватися для оптимізації діяльності компаній.

Для отримання значущої інформації зі сховищ даних користуються спеціальними методами аналізу: OLAP, Data Mining або Knowledge Discovery. Вони засновані на використанні нейромереж, методів математичної статистики та індуктивних методів для побудови дерев рішень тощо.

Спроекуємо архітектуру системи інтелектуального управління виробництвом хлібо-булочної продукції для територій Дніпропетровської області, яка відрізняється значним техногенним навантаженням.

Основу системи моніторингу складає чотирипроцесорний сервер на базі мікропроцесора (МП) Itanium 2 та чипсета HPzx1 (рис. 2).

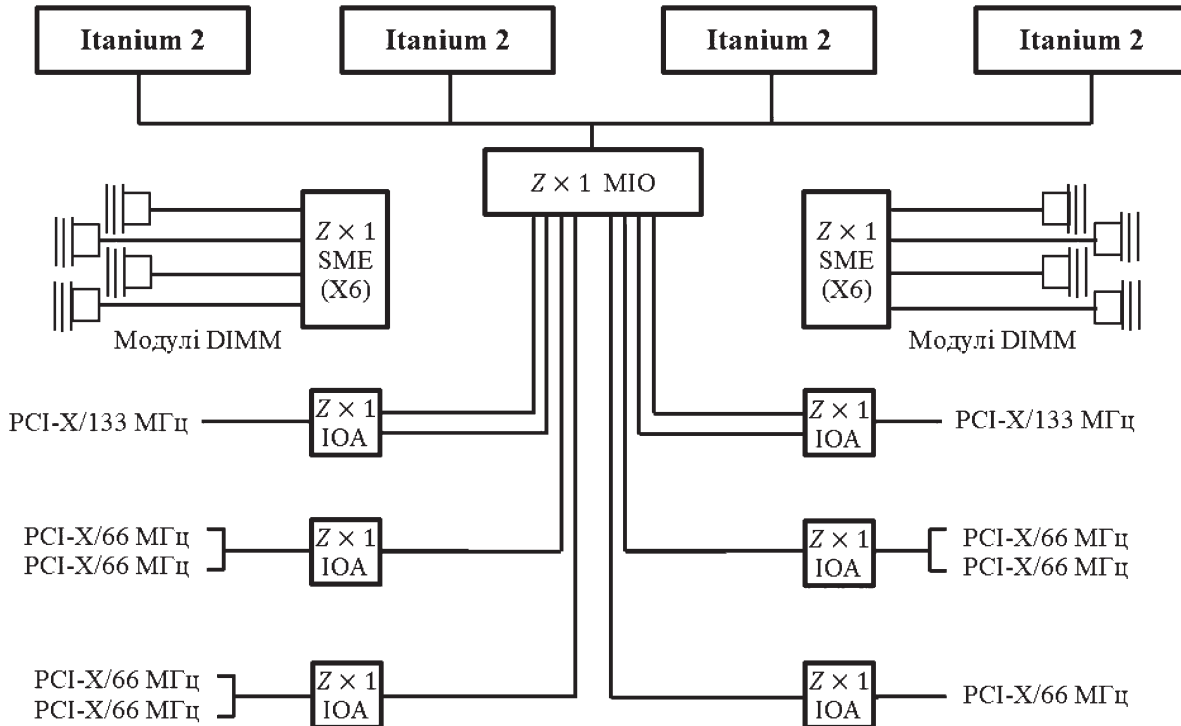


Рисунок 2 — Структурна схема чотирипроцесорного сервера на базі МП Itanium2 та чипсета HPzx1

До структури також входять такі агенти:

A1 — інкапсулює інтерактивну модель користувачів АРМ1, АРМ2 (відповідно ділянки підготовки борошна та інших інгредієнтів системи «опара→тісто→випікання»), працює в реальному масштабі часу (on-line user agent);

A2 — інкапсулює сеансову модель користувачів АРМ1, АРМ2, працює в автономному режимі (off-line user agent);

A3 — контролер (Controler Agent), керує роботою АРМ1, АРМ2, АРМ3.

В архітектурі інтелектуальної системи управління виробництвом ІСУВ на вході розміщується база даних (Data Base), що містить інформацію стосовно існуючих моделей.

Агент А1 призначений для визначення аномальних режимів роботи обладнання хлібозаводу шляхом оцінки: G — аномальних ситуацій; P — послідовності команд; A — прогнозування розвитку ситуації в системі підготовки сировини (борошна) до виготовлення опари та тіста.

Prog: P → A — збір даних про стан та робочу діяльність обладнання та оператора, прогнозування якості борошна, стану опари-тіста і готовності тіста до операції випікання та прогнозування команд із використанням нейромережі (рис. 2).

Агент А2 оцінює роботу оператора в он-лайн режимі з інтервалом часу 0,1 шляхом визначення відхилень робочих характеристик обладнання від норми.

Агент А3 — контролер, який відповідає за функціонування процесу виробництва хліба в цілому і керує роботою інших агентів.

У поданій моделі Prog: P → A відповідає за створення різних типів агентів, отримання інформації з бази даних параметрів моделі, навчання та адаптацію нейромереж.

Це дозволяє агенту А3 працювати з користувачем у діалоговому режимі, а саме: отримувати інтегральні дані про техногенність території, рівень її забруднення та, залежно від цього, надавати рекомендації щодо виробництва того чи іншого різновиду

хлібобулочної продукції з функціональними (дієтичними, лікувально-профілактичними) властивостями.

У процесі функціонування АЗ регулярно поповнює бази даних та знань відповідною інформацією, наприклад, новими відомостями про споживачів хліба, які проживають та/або працюють на території з техногенним тиском. Таким чином, у загальній базі даних зберігається вся інформація, необхідна для функціонування інтелектуальної системи управління підприємством.

Система нейромережевого моніторингу технологічного процесу виробництва хлібобулочної продукції для населення, що проживає на території з техногенним тиском, побудована на основі мобільних агентів, які відрізняються спроможністю до динамічного поведіння в мережі. Технологіями реалізації в програмному середовищі мобільних агентів були обрані Java й Aglets Software Development Kit (ASDK).

Програми на Java транслуються в байт-код Java, який виконується віртуальною машиною Java (JVM) — програмою, що обробляє байтовий код та передає інтерпретовані інструкції обладнанню. Перевагою такого способу виконання програм є цілковита незалежність байт-коду від операційної системи та обладнання, що дозволяє виконувати Java-додатки на будь-якому пристрої, для якого існує відповідна віртуальна машина.

Комплект для розроблення програмного забезпечення ASDK є основою та середовищем для розроблення та запуску мобільних агентів (аглетів). Сучасна версія такого програмного забезпечення від компанії IBM характеризується зручним графічним інтерфейсом користувача, який забезпечується сервером аглетів Tahiti, та простою, прозорою структурою. Особливістю цієї версії програмного забезпечення також є спеціально розроблений стандарт MASIF (Mobile Agent System Interoperability Facility) для забезпечення взаємодії між різними агентними системами.

Розглянемо природу поведіння аглетів більш детально. Загалом це об'єкти Java, які можуть переміщатися з одного комп'ютера мережі на інші. Під переміщенням аглета розуміють передавання програмного коду зі збереженням стану агента, тобто значень його атрибутів. Таким чином, якщо агент виконує деякі дії на одному комп'ютері, то у будь-який момент він може зупинитися, переміститися на інший і продовжити там свою роботу.

Базова функціональність аглетів визначається програмним інтерфейсом Application Programming Interface (API). Для забезпечення мобільності агентів (переміщення на віддалені комп'ютери) ASDK використовує модель подій (event model).

Так, агент 3, у цьому випадку керує роботою комп'ютерного обладнання систем управління випіканням хліба у роторній печі, оцінюючи ситуацію $\{S_n\}$ — події щодо оцінювання якості газу і роботи САР співвідношенням «газ — витрати — повітря» / якість хліба / витрати енергоресурсів. Ці ситуації в керуванні випіканням хліба можуть бути реалізовані через інтерфейс com.ibm.aglet.event, Mobility Listener (він відповідає за оброблення подій, пов'язаних з оцінюванням роботи роторної печі і замовленням інноваційних різновидів хліба).

Пропонована система моніторингу режимів приготування тіста, випікання хліба та контролю продуктивності технологічного обладнання може бути реалізована на основі клієнт-серверної архітектури.

Остання розробка, процесори Itanium 9560 MP, орієнтована на вирішення завдань інтелектуального управління, таких, як планування ресурсів підприємства, управління ланцюгами поставок, управління взаємовідносинами з клієнтами (розумні магазини), інтелектуальний ремонт і управління завантаженням обладнання ліній з виробництва хліба.

У нашому варіанті інтелектуальної системи управління виробництвом хлібобулочної продукції пропонується використовувати МП Itanium 2, які мають переваги порівняно з аналогами: використання шести арифметико-логічних пристроїв (АЛУ, ALU), чотирьох портів пам'яті, 64-бітові інструкції.

Комп'ютери на базі Itanium 2, а також відповідні комплекси чіпсетів HP2x2 є найбільш поширеними в класі бюджетних SMP-систем, побудованих на платформі IA-64.

Набір Zx1 має три типи мікросхем МІО (Memory Input/Output). Чіп МІО забезпечує інтерфейс з 128-бітною системною шиною Itanium 2, яка має максимальну пропускну

здатність 6,4 ГБ/с з ОЗУ і контролером введення-виведення. Чіп МІО підтримує вісім каналів введення-виведення з пропускнуою здатністю 500 МБ/с на канал. Внутрішня шина в МІО мінімізує трафік введення-виведення на процесорній шині, яка включає в себе дані, що записуються з кешу мікропроцесора на зовнішній пристрій. Шина ЦП не бере участі в передаванні даних DMA. Контролер введення/виведення відповідає за передавання даних в інтерфейсі шини Itanium 2. Конструкція МІО використовує до чотирьох відповідних шин введення/виведення, що працюють на частотах від 100 до 266 МГц.

Для підключення адаптера ІоА, який працює з високошвидкісними шинами, можливе об'єднання каналів введення-виведення. Ця інтеграція дозволяє створювати різні конфігурації підсистем вводу-виводу. Для адаптерів введення-виведення Zx1 Іоа основне значення має можливість підключення 4 мостів PCI / PCI-X з пропускнуою спроможністю 1 ГБ/с кожен до контролера МІО. У ІоА є засоби підвищення продуктивності: буфери читання/запису, обладнання для зчитування з попередньою вибіркою, черги перерозподілу.

Мікропроцесорна система (MPS) являє собою функціонально завершений продукт, що складається з одного або декількох пристроїв, основою яких є мікропроцесор.

MP характеризується великою кількістю параметрів і властивостей, оскільки він, з одного боку, є складним обчислювальним пристроєм, а з іншого — електронним пристроєм, продуктом електронної промисловості.

Як засіб комп'ютерної технології він характеризується, по-перше, архітектурою, тобто набором програмного і апаратного забезпечення, що надається споживачеві, і, по-друге, мікропроцесором із системами команд і обробки даних, режимами адресації, регістрами, оперативною пам'яттю і зовнішніми пристроями. Може виконувати функції елемента управління в системі.

Універсальні мікропроцесори призначені для вирішення різних завдань цифрової обробки інформації, від інженерних розрахунків до роботи з базами даних, які не пов'язані жорсткими тимчасовими обмеженнями. Цей клас МП відомий найбільш широко. Він включає в себе такі МП: сімейства процесорів Pentium від Intel і Athlon від AMD.

Універсальні МП розподіляються на мікропроцесори CISC і RISC.

CISC (обчислення з повним набором команд) — МП, які мають весь класичний набір команд із широко розвиненими режимами адресації операторів. Цей клас включає, наприклад, мікропроцесори типу Pentium.

RISC (обчислення зі скороченим набором команд) — МП, які використовують зменшену кількість команд і режимів адресації, таких як Alpha 21x64, Power PC і ін.

Однокристалні мікроконтролери (ОМК або МК) призначені для використання в системах промислової автоматизації та автоматичного управління. Це ВІС, які включають в себе всі пристрої, необхідні для реалізації цифрових систем управління з мінімальною конфігурацією: процесор, ЗП команд, ЗП даних, генератор тактових сигналів, програмовані пристрої для зв'язку зі зовнішнім середовищем (контролер/переривач, таймери/лічильники, різні порти введення/виведення), аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) тощо. До класу однокристалних мікроконтролерів належать МП серії VCS-51 фірми Intel та подібні мікропроцесори інших фірм, архітектура яких де-факто стала стандартом.

Процесори цифрової обробки сигналів, ЦОС (digital signal processor, DSP) — це клас спеціалізованих програмованих мікропроцесорів, призначених для маніпулювання в реальному масштабі часу потоком цифрових даних, наприклад, обробки звукових сигналів, розпізнавання образів і т. п. ЦОС працюють так, що фізичний сигнал (неперервний у часі такий як: напруга, струм тощо) перетворюється в послідовність чисел, які потім підлягають обробці в обчислювальному пристрої. Оброблений цифровий сигнал, за необхідності, може бути перетворений назад у напругу або струм.

ЦОС мають багато спільних рис з однокристалними МП гарвардської архітектури, які відрізняються фізичним та логічним розділенням пам'яті програм та пам'яті даних, а також розвинутими можливостями роботи із зовнішніми пристроями. Проте в ЦОС присутні й риси універсальних МП, особливо з RISC-архітектурою, такі, як конвеєрна

організація роботи, програмні та апаратні засоби для виконання операцій із плаваючою комою, апаратна підтримка складних спеціалізованих обчислень, особливо множення.

Для реалізації багатовимірного нечіткого логічного регулятора (БНЛР) на базі SCADA-систем, у якому запропоновано компенсацію взаємного впливу контурів регулювання з мінімізованим часом відгуку нами було запропоновано використати багатовимірний пропорційний дискретно-логічний регулятор. У ньому відсутній автономний порівнювальний пристрій.

Порівняльний аналіз існуючих систем програмування промислових і ПК-логічних контролерів (Trace mode softologic, Simatic step 7, Rslogix 500 тощо) дав змогу нам віддати перевагу системі Simatic step 7 — пакету програмного забезпечення компанії Siemens, яке призначене для розробки систем на базі програмованих логічних контролерів Simatic та інших з подібною архітектурою.

У процесі аналізу було встановлено таке: для ефективної програмної реалізації БНЛР з чіткими термінами та змінними у вигляді сукупності аргументів двозначної логіки необхідно розробити спеціальну систему автоматизованого проектування. Особливістю такої системи є універсальність та мінімізація часу відгуку, що сприятиме стабілізації вихідних параметрів роботи системи «насос — тістомісильна машина — сепаратор — робототехнологічний комплекс — інтенсифікатор».

Під час розроблення БНЛР запропоновано спосіб інтерпретації безперервних фізичних величин у вигляді еквівалентної сукупності чітких термінів. Новизна такого способу полягає у можливості вибору характеру і порядку розподілення чітких термінів на універсальній числовій осі, що дозволить розширити функції і сферу використання БНЛР.

У нашому випадку управління складним технологічним процесом випікання хліба запропоновано таку концепцію побудови ІСУ, в якій блок логічного виведення зображено у вигляді системи керування впливів з механізмами формування ідентифікаційних номерів продукційних правил.

На рис. 3 надано структурну схему БНЛР.

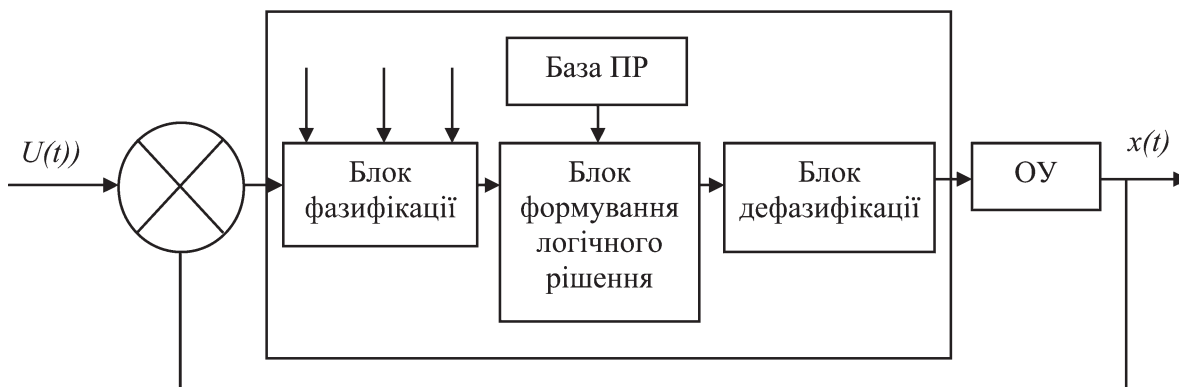


Рисунок 3 — Типова система управління виробництвом хліба з нечітким регулятором

Такий спосіб дозволяє в кожному циклі сканування БНЛР не обробляти систему продукційних правил загалом, а лише визначати те дійове правило, антецедент якого дорівнює логічній одиниці.

Це твердження опирається на той факт, що будь-яка безперервна фізична величина в кожний момент часу t може набувати одне і лише одне чітке значення, яке знаходиться усередині відрізка універсальної числової осі, який накривається відповідним чітким термом, значення якого у цей період часу дорівнює логічній одиниці.

Для нашого випадку одержано аналітичні вирази для розрахунку основних параметрів. Кількість продукційних правил R БНЛР:

$$1) R = R_x \cdot R_{y+1}; \quad 2) R_x = K(X_1) \cdot K(X_2) \cdot \dots \cdot K(X_n); \quad (6)$$

$$3) R_y = K(Y_1) \cdot K(Y_2) \cdot \dots \cdot K(Y_k),$$

де R_x, R_y — кількість продукційних правил БНЛР, утворених n -вхідними і K -вихідними змінними X і Y відповідно; $K(X_1), \dots, K(X_n)$ й $K(Y_1), \dots, K(Y_n)$ — кількість чітких термів змінних X_1, \dots, X_n та Y_1, \dots, Y_n БНЛР відповідно.

Відсоток скорочення сумарного числа продукційних правил ΔR БНЛР:

$$\Delta R = \left\{ 1 - \frac{\prod_{i=1}^n K(x_n) * \prod_{j=1}^k K(Y_k) + 1}{\prod_{i=1}^n (K(x_n) + 1) * \prod_{j=1}^k (K(Y_k) + 1)} \right\} * 100\% . \quad (7)$$

Кількість операцій порівняння L БНЛР:

$$L = \sum_{i=1}^n (K(X_i) + 1) + \sum_{j=1}^k (K(Y_j) + 1). \quad (8)$$

У схемі формування ідентифікаційного номера продукційного правила БНЛР $K_1(X_1), K_2(X_2), \dots, K_t(X_n), R_t(Y_1), K(Y_2), \dots, K_r(Y_k)$ — порядкові номери чітких термів, значення яких дорівнює логічній одиниці в момент часу t , змінних X_1, X_2, \dots, X_n та Y_1, Y_2, \dots, Y_k БНЛР відповідно.

Структурна схема системи продукційних правил багатовимірного чіткого логічного регулятора у нашому випадку буде складатись із регулюючої складової продукційного правила (відповідно РСПП та КСПП). Відпрацювання РСПП і КСПП виконується в кожному циклі сканування. Компенсаційна система продукційних правил дозволяє вирішити основну проблему синтезу БНЛР, тобто призначена для відокремлення в стійкому режимі взаємних впливів контурів регулювання.

Основними електронними системами ІСУ на основі БНЛР є:

$Z(t)$ — давальних $Y(t)$ й $U(t)$ — вектори регульованих та регулюючих параметрів; X_b і Y_b — дискретні вхідні й вихідні сигнали багатомірного об'єкта керування (БОК) відповідно; TZY і Um — вектори термів задаючих, регульованих й регулюючих параметрів відповідно.

Джерелом інформації під час розроблення системи продукційних правил багатовимірного чіткого логічного регулятора є експериментально отримані залежності задавального та регульовального параметрів у автономному та зв'язаному режимах U_{mi}, U_{ai} його роботи.

Через те, що до складу умовної частини продукційних правил БНЛР є можливість включити терми як вихідних, так і вхідних змінних регулятора, інформацію для розроблення компенсуючої системи продукційних правил нами запропоновано одержувати із двох або більше (за необхідності) експериментів під час роботи БНЛР з об'єктом управління: тістомісильний апарат → роторна піч → система управління температурними режимами випікання хліба.

Геометрія камери випікання хліба може бути ідентифікована таким рівнянням:

$$U_{ki} = U_{mi} + U_{ai} . \quad (9)$$

Функція U_{ki} є закономірним відображенням експериментально одержаної функції відносно осі абсцис. У процесі дослідження доведено, що в разі точного відображення функції U_{ki} цілком компенсує вплив $(n-1)$ рівнів на i -й контур регулювання БНЛР.

Авторами було проведено спеціальний експеримент із впровадження БНЛР у процес управління стадією випікання хліба. У даному експерименті було проведено кількісне оцінювання мінімізації відгуку БНЛР. У процесі було доведено, що середній відсоток збільшення швидкості дії багатовимірної ІСУ при використанні БНЛР буде змінюватися в діапазоні (25...35)%, залежно від сумарної кількості чітких термів безперервних фізичних величин K .

У процесі впровадження БНЛР виникла проблема реалізації програмного забезпечення функціональних блоків (фазифікаторів і дефазифікаторів) БНЛР STEP-TIM алгоритму фазифікації на мовах програмування стандарту IEC 61131-3 в інструментальному середовищі розробки TRACE MODE 6.0 TASIMATICSTEP 7.

У процесі проведення експерименту були отримані аналітичні залежності для розрахунку максимального і мінімального поточних ідентифікаційних номерів продукційного правила БНЛР:

$$N_m^{\max} = R - 1$$

$$N_m = (K(P_1) - 1) * K(P_2) * \dots * K(P_N) + \dots + (K_t(P_{N-1}) - 1) * K(P_N) + K_t(P_N), \quad (10)$$

де вектор P описує сукупність n -вхідних та K -вихідних змінних X і Y БНЛР відповідно; $K_t(P_N)$ — номер терма-змінної P_N , значення якого дорівнює логічній одиниці в момент часу t ; $K(P_N)$ — кількість чітких термів змінної P_N .

На основі цих досліджень та висновків розроблено концепцію семантичного аналізу структури програмного коду багатовимірною чіткою логічною регулятором. Вона складається з шістьох положень, які передбачають детальну перевірку системи впливів керування щодо наявності повторень, які є суперечними та взаємодоповнюють продукційні правила.

Авторами роботи розроблено універсальне програмне забезпечення для системи автоматизованого проєктування та розроблення багатовимірних логічних регуляторів зі змінними у вигляді сукупності аргументів двозначної логіки та компенсацій взаємного впливу контурів регулювання «САРБЧЛП». Система проєктування розроблена в інструментальному середовищі об'єктивно-орієнтованої мови програмування Embarcadero Delphi.

Висновки. Розроблено інтелектуальну систему управління виробництвом хлібобулочної продукції, у якій аналіз збурень сировини, води та обладнання виконано за допомогою системи моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання. Системи моніторингу робочих характеристик обладнання та якості води, сировини, опари, тіста виконано на основі агентських технологій, що дає можливість на базі нечітких регуляторів побудувати системи адаптивного керування комплексом приготування тіста та випіканням хліба.

Аналіз результатів функціонування алгоритму і структури адаптивної САК з моніторингом робочих характеристик обладнання (моніторингу якості продукції) дозволяє зробити висновок про те, що метод побудови адаптивних САУ, САК дає змогу синтезувати нечіткі регулятори для елементарних операцій технологічних процесів виробництва хліба з урахуванням нелінійності об'єкта керування.

Доведено, що відпрацювання еталонного завдання в умовах невизначеності зовнішніх і внутрішніх збурень, які не контролюються датчиками, може бути оцінено експертною системою формування законів управління технологічним процесом виробництва хліба. Врахування знань і навичок операційного персоналу в експертній системі управління з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання та якості сировини, у тому числі води, дозволяє побудувати робастні інтелектуальні системи управління хлібозаводом з оптимізацією його параметрів продуктивності та мінімізацією питомих енерговитрат.

Отже, розроблення систем багатоцільового управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва на основі контролю якості продукції та інтелектуальних технологій сприятиме підвищенню продуктивності праці та зменшенню питомих втрат продовольчих, енергетичних та інших видів ресурсів.

Список літератури

1. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Возняк А. В., Омельченко О. В., Заїкіна Д. П., Копайгора О. К., Шеїна А. В. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів : монографія. Кривий Ріг, 2019. 204 с.
2. Корзун В. Н. Вимоги до якості харчування населення в умовах екологічного неблагополуччя. *Екологічний вісник*, 2006, № 6, С. 10–14.
3. Федорова Т. В. Підвищення конкурентоспроможності підприємств хлібопекарської галузі: дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04 . Житомир, 2015. 204 с.
4. Pozdniakov, S. V., Kuzmin, O. V., Kiiko, V. V., Korenets, Yu. M. (2018). Definition of the role of business modelling in the building of a management information system. *Strategies for Economic Development: The experience of Poland and the prospects of Ukraine*, vol. 2, pp. 231–245.

5. Khorolskyi, V., Korenets, Yu., Ostapenko, I. (2018). Development of robototechnological complex of intellectual management by bread manufacturing for technological loading territories. *Technology audit and production reserves*, no. 1 (3), pp. 53–58.

6. Хорольський В. П., Коренець Ю. М. Проектування робототехнологічного комплексу з виробництва хліба для територій з техногенним тиском. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, 2018, № 1 (257), С. 256–263.

7. Хорольський В. П., Ключев Д. Ю., Коржов С. М. Інтелектуальна система управління та моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2016. № 6 (243). С. 55–62.

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

References

1. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Vozniak, A. V., Omelchenko, O. V., Zaikina, D. P., Kopaihora, O. K., Sheina, A. V. (2019). *Intelektualni systemy upravlinnia vyrobnytstvom khlibobulochnykh vyrobiv* [Intellectual systems for production management of bakery products], Kryvyi Rih, 204 p.

2. Korzun, V.N. (2006). *Vymohy do yakosti kharchuvannia naseleння v umovakh ekolohichnoho neblahopoluchchia* [Requirements for the quality of nutrition of the population in conditions of ecological disadvantage]. *Ekolohichnyi visnyk* [Ecological Bulletin], no. 6, pp. 10–14.

3. Fedorova, T. V. (2015). *Pidvischennya konkurentospromozhnosti pidpriemstv hlibopekarskoyi galuzi* [Increasing the competitiveness of the baking industry.]. Zhytomyr, 204 p.

4. Pozdniakov, S. V., Kuzmin, O. V., Kiiko, V. V., Korenets, Yu. M. (2018). Definition of the role of business modelling in the building of a management information system. *Strategies for Economic Development: The experience of Poland and the prospects of Ukraine*, vol. 2, pp. 231–245.

5. Khorolskyi, V., Korenets, Yu., Ostapenko, I. (2018). Development of robototechnological complex of intellectual management by bread manufacturing for technological loading territories. *Technology audit and production reserves*, no. 1 (3), pp. 53–58.

6. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M. (2018). *Proektuvannia robototekhnolohichnoho kompleksu z vyrobnytstva khliba dlia terytorii z tekhnohennym tyskom* [Designing of a robotic technological complex for bread production for territories with technogenic pressure]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Engineering sciences], no. 1 (257), pp. 256–263.

7. Khorolskyi, V. P., Kliuiev, D. Yu., Korzhov, S. M. (2016). *Intelektualna systema upravlinnia ta monitorynhu robochykh kharakterystyk tekhnolohichnoho obladnannia khlibobulochnykh zavodiv* [Intelligent system for management and monitoring of performance of technological equipment of bakeries]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Engineering sciences], no. 6 (243), pp. 55–62.

8. Sharuda, S. S., Kyshenko, V. D. (2010). *Intelektualna systema stsensarnoho upravlinnia khlibopekarskym vyrobnytstvom* [Intelligent script management system for bakery production]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], no. 5/3 (47), pp. 66–70.

Objective. *The purpose of this study is to improve the design of technological equipment for the production of bakery products through the use of intelligent production management systems. This goal is specified in such tasks as the analysis of existing equipment for the production of bakery products, the justification of the choice of equipment for the bakery, taking into account the minimization of the harmful effects on the environment, the study of the theoretical foundations of building intelligent control systems for the bakery and the development of an intelligent process control system in the production of bakery products.*

Methods. *Research methods are based on the theoretical and experimental determination of the operating characteristics of the “dough → dough → baking” system under the influence of cavitation processes.*

Results. *An intelligent system for automated control of the production of bakery products has been developed, in which the disturbance analysis of raw materials, water and equipment is performed using a system for monitoring the performance of technological equipment. Systems for monitoring the operating characteristics of equipment and the quality of water, raw materials, dough, dough, based on agent technologies, make it possible to build adaptive control systems (ACS) on the basis of fuzzy regulators by a dough preparation complex and bread baking. The construction of adaptive self-propelled guns allows the synthesis of fuzzy controllers for elementary operations of technological processes for the production of bread, taking into account the nonlinearity of the control object. It is proved that the development of the reference problem in the conditions of uncertainty of external and internal disturbances that are not controlled by sensors can be evaluated by an expert system for the formation of laws for controlling the technological process of bread production. Taking into account the knowledge and skills of operating personnel in an expert management system for agent technologies for monitoring the performance of equipment and the quality of raw materials, including water, allows you to build robust intelligent control systems for the bakery with the optimization of its performance parameters and the minimization of specific energy costs. The development of multi-purpose control systems for technological processes of bakery production based on product quality control and intelligent technologies will help increase labor productivity and reduce the specific losses of food, energy and other types of resources.*

Key words: *bread, dough, dough, baking, intelligent control system, cavitation, thermal processes, rotary kiln.*

DOI : 10.33274/2079-4827-2020 -40-1-80-86

УДК 331.45:535-1/-3 (045)

*Омельченко О. В., канд. техн. наук¹**Заїкіна Д. П., асистент¹**Гейер Г. В., д-р екон. наук, професор¹**Абрамова О. В., студент¹*

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

СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ І ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКІВ ВІД НЕІОНІЗУЮЧИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ І ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ

UDK 331.45:535-1/-3 (045)

*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹**Zaikina D. P., Assistant Professor¹**Heiier H. V., Grand PhD in Economy sciences,
Professor¹**Abramova O. V., Student¹*

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kriviy Rig, Ukraine, e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

ANALYSIS OF WAYS TO PROTECT EMPLOYEES FROM NON-IONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION AND ELECTRIC FIELDS

Мета — оцінити наслідки впливу електромагнітних випромінювань на організм працівників, і розглянути сучасні матеріали і способи захисту працівників від неіонізуючих електромагнітних випромінювань та електричних полів.

Методи. Для досягнення поставленої мети використано методи наукового дослідження, що містять узагальнення та аналіз літературних джерел; методи системного аналізу.

Результати. Метою огляду було вивчення проблеми впливу електромагнітного випромінювання на працівників. Розглянуто сучасні способи захисту працівників від неіонізуючих електромагнітних випромінювань та електричних полів. Обґрунтовано, що вибір методів і засобів захисту від впливу електромагнітних полів і випромінювань залежить від виду прояву випромінювання та багато в чому визначається характеристиками джерел за частотою. Варіюючи взаємним розташуванням небезпечних зон і зон перебування працівників у просторі, можна істотно впливати на вирішення завдань із захисту персоналу та виробничого середовища від негативного впливу неіонізуючих електромагнітних випромінювань і електричних полів. Зроблено висновок про те, що електромагнітні екрани є найбільш ефективним засобом вирішення проблем електромагнітної безпеки і електромагнітної екології. Таким чином, застосування якісних екранів дозволяє вирішувати завдання персоналу від підвищеного рівня електромагнітних полів і забезпечення сприятливої екологічної обстановки навколо діючих установок та інших пристроїв. Крім цього, наголошено, що важливим способом забезпечення екранування є прогнозування коефіцієнтів екранування з використанням розрахункових методів і моделювання. Отримані результати спрямовані на подальші дослідження щодо забезпечення ефективних заходів задля захисту персоналу від впливу неіонізуючих електромагнітних випромінювань та електричних полів.

Ключові слова: неіонізуючі електромагнітні випромінювання, електричні поля, електромагнітне забруднення виробничого середовища, принципи і засоби захисту працівників, електромагнітна безпека, електромагнітна екологія.

Постановка проблеми. Теплові апарати, які використовуються на підприємствах, є джерелами інфрачервоного випромінювання (ІЧ-випромінювання). За фізичною природою інфрачервоні випромінювання являють собою електромагнітні хвилі і потік

Надійшла до редакції 10.04.2019 р.

© О. В. Омельченко, Д. П. Заїкіна,
Г. В. Гейер, О. В. Абрамова, 2020

квантових фотонів. Ефект дії інфрачервоних випромінювань на людину залежить від довжини хвилі. Короткохвильове інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі від 0,76 до 1,4 мкм має велику здатність проникати крізь шкіру. Довгохвильове інфрачервоне випромінювання з більшою довжиною хвилі поглинається переважно в епідермісі, видиме — кров'ю в шарах дерми і підшкірної жирової клітковини. Поглинання інфрачервоних променів різними шарами шкіри призводить до їхнього нагрівання. Внаслідок цього можливо порушення теплового балансу організму людини. Інфрачервоні випромінювання негативно впливають на функціональний стан центральної нервової системи, викликають зміни в серцево-судинній системі. Вплив інфрачервоних випромінювань на очі викликає часто кон'юнктивіти, помутніння роговиці, спазм зіниць, помутніння кришталика, опік сітківки, «снігову» сліпоту. У разі опромінення очей випромінюваннями інтенсивністю понад 4,2 кВт/м² температура роговиці може досягати 40 °С та більше. Постійна дія такого випромінювання на очі викликає професійне захворювання — катаракту. Відтак проблема забезпечення електромагнітної безпеки працівників становить дедалі актуальною через зростаюче електромагнітне забруднення виробничого середовища і підвищення у зв'язку із цим ризику погіршення здоров'я.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематиці захисту працюючих від неіонізуючих електромагнітних випромінювань та електричних полів присвячено багато досліджень. Більшість із них стосується впливу саме зовнішніх джерел на електромагнітну обстановку у виробничому середовищі.

Таким чином, раніше опубліковані напрацювання вчених з даної проблематики [1–9] наголошують, що при захисті від неіонізуючих електромагнітних випромінювань та електричних полів на персонал, основними методами зниження рівня їх впливу є зменшення енергетичних параметрів у джерелі, оптимальна орієнтація джерела коливання щодо об'єкта впливу, поглинання частини енергії коливальних, що генерується, зменшення енергії коливальних на шляху їх поширення від джерела ізоляцією, екрануванням і демпфіруванням, захистом відстанню і часом, проведенням відповідних організаційно-технічних і соціально-реабілітаційних заходів. Отже, розглянемо їх докладніше.

Мета статті — оцінити наслідки впливу електромагнітних випромінювань на організм працівників і розглянути сучасні матеріали і способи захисту працівників від неіонізуючих електромагнітних випромінювань та електричних полів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під дією інфрачервоних випромінювань виникають гострі і хронічні захворювання. Відчуття розслабленості і зниження уваги працівників, що знаходяться в зоні теплового променевого потоку, можуть бути непрямою причиною виробничого травматизму [10].

Тепловий ефект впливу інфрачервоного випромінювання на людину залежить від багатьох чинників, серед яких: температура джерела випромінювання, його площа, кут падіння променів, площа поверхні, що опромінюється, тривалість опромінення, вид одягу.

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99, ГОСТ 12.1.005-88, інтенсивність теплового опромінення працівників від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляції на постійному і непостійному робочому місцях не повинна перевищувати 35 Вт/м² — у разі опромінення 50 % і більше поверхні тіла, 70 Вт/м² — за величини поверхні, що опромінюється, від 25 до 50 % і 100 Вт/м² — при опроміненні не більше ніж 25 % його поверхні. Для працівників у спецодязі норма ІЧ-випромінювання становить 100 Вт/м².

За наявності відкритих джерел випромінювання (нагрітий метал, відкрите полум'я) допускається інтенсивність опромінення до 140 Вт/м². У цьому випадку площа опромінення тіла працівника не повинна перевищувати 25 % загальної його поверхні — за умови обов'язкового використання засобів індивідуального захисту [10].

За наявності теплового опромінення температура повітря на постійних робочих місцях не повинна перевищувати зазначені в ДСН 3.3.6.042-99 і ГОСТ 12.1.005-88 верхні границі оптимальних значень для теплового періоду року (20...25 °С — залежно від важкості виконуваної роботи), на непостійних робочих місцях — верхні границі допустимих значень

для постійних робочих місць (19...28 °С — залежно від періоду року і важкості виконуваної роботи) [10].

Для виключення теплових травм температура зовнішніх поверхонь технологічного обладнання або огорожуючих його пристроїв повинна бути не більше ніж 45 °С.

Так, на рис. 1 зображено ізорadiaційні поверхні 100 Вт/м² біля робочої панелі пекарської шафи ЕШ-3М.

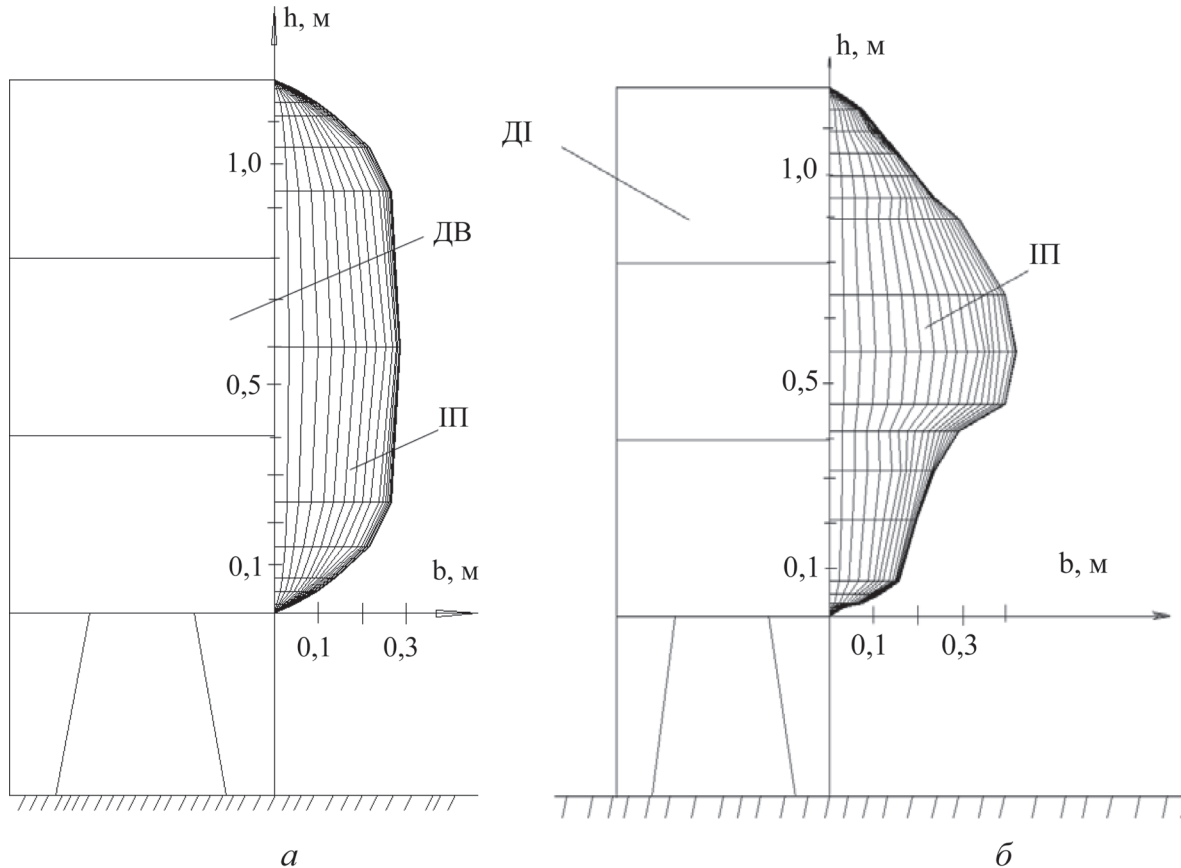


Рисунок 1 — Ізорadiaційна поверхня 100 Вт/м² біля передньої панелі пекарської шафи ЕШ-3М при закритих дверцятах (а) і відкритих середніх дверцятах (б): ДВ — джерело ІЧ-випромінювань; ІП — ізорadiaційна поверхня

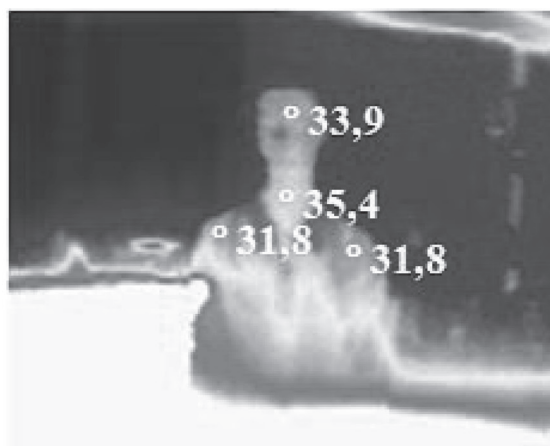
Як видно, відкриття дверцят пекарської шафи для завантаження напівфабрикатів і вивантаження готової продукції деформує в цій області ізорadiaційну поверхню: зона підвищеної ІЧ-радіації збільшується тут на 0,25м. У цьому випадку працівник, який виконує технологічний процес, знаходиться в просторі з недопустимою інтенсивністю теплового випромінювання.

У гарячих цехах підприємств ресторанного бізнесу використовуються плити, відкрита жарова поверхня яких нагрівається під час роботи до температури в межах 350...450 °С.

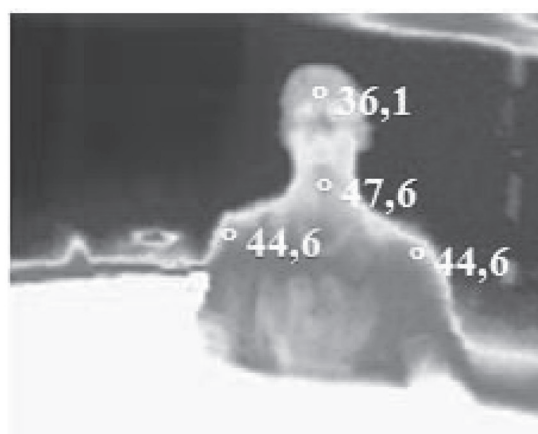
На рис. 2 показано тепловізійні зображення працівника, який знаходиться біля краю шестиконфорочної електричної плити ЕП-2М, жарова поверхня якої мала температуру 360 °С, у різні моменти часу: при підході до неї, через 5; 10; 12,5; 15 хв перебування біля неї — фрагменти а, б, в, г, д відповідно [10].

Вимірювання температури у визначених пунктах теплообмінної поверхні тіла і візуалізація термограм здійснювалися через встановлені проміжки часу тепловізійним апаратурно-програмним комплексом «Кріонік-4М». Як видно, зі збільшенням часу перебування працівника біля електричної плити підвищується температура відкритих поверхонь його тіла і спецодягу (білий бавовняний халат), досягаючи небезпечних для здоров'я значень.

Таким чином, цілком очевидна необхідність захисту працівників від ІЧ-випромінювань.



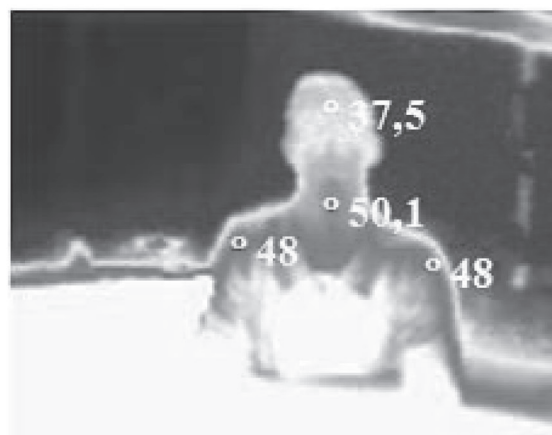
а



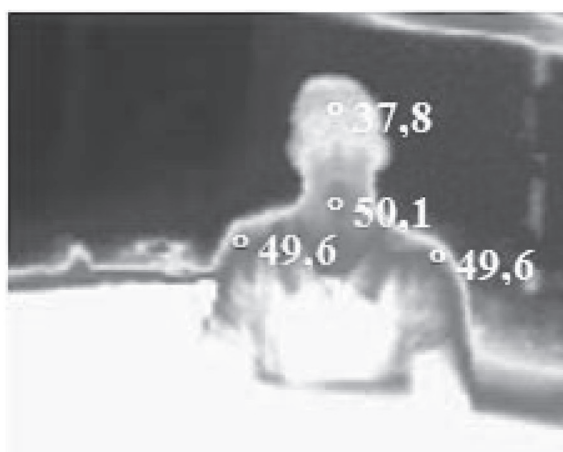
б



в



г



д

Рисунок 2 — Тепловізійні зображення працівника в полі теплового випромінювання від жарової поверхні електроплити ЕП-2М в різні моменти часу

Вимоги до засобів колективного захисту від інфрачервоних випромінювань викладені в ГОСТ 12.4.123-83. «ССБТ. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования». Захист від цих випромінювань забезпечують пристрої: огорожувальні; герметизуючі; теплоізолюючі; для вентиляції повітря; автоматичного контролю і сигналізації; дистанційного керування; знаки безпеки.

На практиці зниження інтенсивності теплового випромінювання на робочих місцях досягається застосуванням: різних екранів (водяні завіси, скло зі спеціальним покриттям, сітки, ланцюжки та ін.); теплоізоляційних матеріалів (азбест, скловата, комбіновані екра-

ни та ін.); водоповітряного душування при інтенсивності випромінювання понад $0,36 \text{ кВт/м}^2$; індивідуальних засобів захисту (окуляри, костюми з вибіленої тканини та ін.). За постійної температури нагрітого тіла послабити дію теплового випромінювання на працівників можна шляхом зменшення площі випромінюючої поверхні і (або) збільшення відстані між джерелом випромінювання і робочим місцем [10].

У гарячих цехах підприємств ресторанного бізнесу з метою зниження тепловтрат і обмеження інтенсивності інфрачервоного випромінювання в робочій зоні жарова поверхня плит повинна бути максимально завантажена наплитним посудом. Для забезпечення нормального теплового самопочуття працівників слід передбачити повітряне душування в межах робочої зони. Ефективним засобом індивідуального захисту працівників від теплових випромінювань є халат з вибіленої тканини. Однак кисті рук і обличчя працівника знаходяться іноді в зоні інтенсивного тепловипромінювання.

Відповідно до Кодексу законів про працю України, працівники гарячих цехів і виробничих ділянок повинні бути забезпечені безкоштовно газованою солоною водою.

Безумовно, найефективніший спосіб захисту навколишнього середовища від теплових випромінювань — обмеження температури зовнішньої поверхні апаратів і, отже, — тепловтрат узагалі. Зменшення теплового забруднення навколишнього середовища може бути забезпечено застосуванням в устаткуванні ефективної теплоізоляції, використанням прогресивних технологій одержання, перетворення і використання енергії [10].

Ультрафіолетові випромінювання подразнюють на шкіру (виникають дерматити з дифузійною екземою, набряклість, печіння й сверблячка, інші захворювання), викликають ураження органів зору (фото- або електрофтальмія), впливають на центральну нервову систему (нервові порушення, підвищена стомлюваність, головний біль, запаморочення, підвищення температури тіла та ін.). Ультрафіолетова радіація змінює склад виробничої атмосфери: утворюються озон, оксиди азоту, перексид водню. Короткі ультрафіолетові промені, розчіплюючи газову молекулу атмосфери, іонізують повітря. При дії ультрафіолетових випромінювань на зважені в повітрі частки — аерозолі виникає фотоелектричний ефект. Наслідком хімічної й іонізуючої дії цих випромінювань на виробничу атмосферу є утворення в ній ядер конденсації вологи, що призводить до туманоутворення й, як наслідок, зменшення освітленості робочих місць [10].

Найбільш раціональний метод захисту від ультрафіолетових випромінювань — екранування їхніх джерел з використанням, наприклад, світлофільтрів.

Особливістю ультрафіолетових випромінювань є висока сорбційна здатність — їх поглинають більшість тіл. У зв'язку із цим неможливо розрахувати інтенсивність ультрафіолетової радіації на відстані від джерела, тому її тільки заміряють (використовуються прилади — уфіметри).

Працюючи, наприклад з ЕП, необхідно керуватися «Вимогами щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Захист від електромагнітних полів радіочастот забезпечується екрануванням джерела випромінювання, екрануванням робочих місць, безпечною відстанню, обмеженням часу перебування людини в електромагнітному полі, застосуванням засобів індивідуального захисту [10]. У машинах і апаратах для захисту обслуговуючого персоналу від електромагнітних полів застосовуються екрани (цільні металеві, сітчасті, еластичні та ін.), екрановані камери, блокування (для заборони роботи установок при знятому огороженні, для автоматичного розряду конденсаторів під час відкривання дверцят блоку й автоматичного вмикання водоохолодження при подачі напруги).

Висновки. Таким чином, розроблені дотепер методи та засоби захисту від несприятливого впливу електромагнітних випромінювань і електричних полів дозволяють істотно знизити ризики погіршення здоров'я працівників. Разом з тим необхідно проведення подальших досліджень щодо вдосконалення гігієнічних регламентів, методів контролю ЕМВ на робочих місцях, методів оцінювання ефективності засобів колективного та індивідуального захисту.

Список літератури

1. Осокін В. В., Селезньова Ю. А. Охорона праці у торгівлі : підруч. для студ. вищ. навч. закл. Донецьк : ДонНУЕТ, 2008. 183 с.
2. Голінько В. І. Основи охорони праці : підручник. Дніпропетровськ: НГУ, 2014. 271 с.
3. Pal'tsev, Yu. P., Pokhodzey, L. V., Rubtsova, N. B., Perov, S. Yu., Bogacheva, E. V. (2013). The problem of studying the effect of electromagnetic fields on human health. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. no. 6, pp. 35–40.
4. Rubtsova, N. B., Faradzhev, V. I., Perov, S. Yu., Belaya, O. V. (2014). Providing individual protection of a person from the effects of electromagnetic fields. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. no. 16 (5-2), pp. 801–4.
5. Коваленко В. В., Тихенко О. М., Левченко Л. О. Пріоритетні напрями робіт із захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот. *Вісник КрНУ ім М. Остроградського*. 2016. Вип. 5 (100). С. 98–105.
6. Коваленко, В. В., Тихенко, О. М. Методологія визначення захисних властивостей електромагнітних екранів. *Теорія і практика будівництва КНУБА*. 2015. Вип. 16. С. 11–14.
7. Tong, X. C. (2009). Advanced materials and design for electromagnetic interference shielding. CRS : Press, 342 p.
8. Ostrovskiy, O. S. (2003). Zashhytnue ekranu y poglotytely elektromagnytnux voln [*Shields and absorbers for electromagnetic waves*]. *Fyzycheskaya ynzhenerya poverxnosty* [Physical surface engineering], vol. 1, no. 2, pp. 161–173.
9. Sukach, S. V. (2015). *Elektromagnitni polya yak faktor vplyvu na mikroklimatychni parametry seredovyssha* [Electromagnetic fields as a factor of influence on microclimatic parameters of the medium]. *Elektromekhanichni ta enerhozberihaiuchi systemy* [Electromechanical and energy saving systems], no. 3, pp. 176–182.
10. Підприємства торгівлі. Будинки і споруди: Державні будівельні норми України від 19 січ. 2009 р.. URL : <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-267> (дата звернення: 03.02.2020).

References

1. Osokin, V. V., Seleznova, Yu. A. (2008) *Okhorona pratsi u torhivli* [Occupational health and safety in trade], Donetsk: DonNUET Publ., 2008. 183 p.
2. Holinko V. I. *Osnovy okhorony pratsi* [Fundamentals of occupational health and safety]. Dnipropetrovsk, NHU Publ., 2014. 271 p.
3. Pal'tsev, Yu. P., Pokhodzey, L. V., Rubtsova, N. B., Perov, S. Yu., Bogacheva, E. V. (2013). The problem of studying the effect of electromagnetic fields on human health. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. no. 6, pp. 35–40.
4. Rubtsova, N. B., Faradzhev, V. I., Perov, S. Yu., Belaya, O. V. (2014). Providing individual protection of a person from the effects of electromagnetic fields. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 16 (5-2), pp. 801–4.
5. Kovalenko, V. V., Tykhenko, O. M., Levchenko, L. O. (2016). *Priorytetni napriamy robit iz zakhystu pratsiuiiuchykh vid vplyvu elektromahnitnykh vyprominiuvan ultravysokykh i vyshchyykh chastot* [Priority areas of work to protect workers from exposure to electromagnetic radiation of ultrahigh and high frequencies]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho* [Bulletin of Mykhailo Ostrohradskyi KrNU], no. 5 (100), P. 98–105.
6. Kovalenko, V. V., Tykhenko, O. M. (2015). *Metodolohiia vyznachennia zakhysnykh vlastyvostei elektromahnitnykh ekraniv* [Methodology for determining the protective properties of electromagnetic screens]. *Teoriia i praktyka budivnytstva KNUBA* [Theory and practice of construction of KNUBA], no. 16, P. 11–14.
7. Tong, X. C. (2009). Advanced materials and design for electromagnetic interference shielding, CRS: Press, 342 p.
8. Ostrovskiy, O. S. (2003). Zashhytnue ekranu y poglotytely elektromagnytnux voln [*Shields and absorbers for electromagnetic waves*]. *Fyzycheskaya ynzhenerya poverxnosty* [Physical surface engineering], vol. 1, no. 2, pp. 161–173.

9. Sukach, S. V. (2015). *Elektromagnitni polya yak faktor vplyvu na mikroklimatychni parametry seredovyssha* [Electromagnetic fields as a factor of influence on microclimatic parameters of the medium]. *Elektromekhanichni ta enerhozberihaiuchi systemy* [Electromechanical and energy saving systems], no. 3, pp. 176–182.

10. *Pidpriemstva torhivli. Budynky i sporudy: Derzhavni budivelni normy Ukrainy vid 19 sich. 2009 r.* [Trade enterprises. Buildings and structures: State building codes of Ukraine from January 19, 2009]. Available at : <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-267>. (Accessed 03.02.2020).

Objective. *The purpose of the article is to assess the effects of electromagnetic radiation on the body of workers and review modern materials and methods of protection of workers from non-ionizing electromagnetic radiation and electric fields.*

Methods. *To achieve this goal, research methods are used, which include generalization and analysis of literature sources; methods of system analysis.*

Results. *The purpose of the review was to study the problem of the effects of electromagnetic radiation on workers. A review of modern methods of protecting workers from non-ionizing electromagnetic radiation and electric fields. It is substantiated that the choice of methods and means of protection against influence of electromagnetic fields and radiations depends on a kind of display of radiation and is in many respects defined by characteristics of sources on frequency. By varying the relative position of hazardous areas and areas of workers in space, you can significantly influence the solution of problems to protect personnel and the production environment from the negative effects of non-ionizing electromagnetic radiation and electric fields. It is concluded that electromagnetic screens are the most effective means of solving problems of electromagnetic safety and electromagnetic ecology. Thus, the use of high-quality screens allows to solve the problem of personnel from the increased level of electromagnetic fields and to ensure a favorable environmental environment around existing installations and other devices. In addition, it is emphasized that an important way to provide shielding is to predict shielding coefficients using calculation methods and modeling. The obtained results are aimed at further research to ensure effective measures to protect personnel from the effects of non-ionizing electromagnetic radiation and electric fields.*

Keywords: *non-ionizing electromagnetic radiation, electric fields, electromagnetic pollution of the production environment, principles and means of protection of workers, electromagnetic safety, electromagnetic ecology.*

ЗМІСТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

<i>Дейниченко Г. В., Гузенко В. В., Омельченко О. В., Гейсер Г. В., Кузьменко А. О.</i>	
АНАЛІЗ СИРОВИНИ ТА РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПЕКТИНОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ	5
<i>Попова С. Ю., Слащева А. В., Пусікова О. А., Боднарук О. А.</i>	
НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА ПРИШВИДШЕНИМ СПОСОБОМ	12
<i>Юдіна Т. І., Безрученко О. М., Агапова О. В.</i>	
БЕЗГЛЮТЕНОВІ КЕКСИ З БОРОШНОМ КРУП'ЯНИХ КУЛЬТУР	19

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

<i>Горайнова Ю. А., Назаренко І. А., Сімакова О. О., Боднарук О. А.</i>	
ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ ПИВНОЇ ДРОБИНИ НА ОСНОВНІ ХЛІБОПЕКАРСЬКІ ВЛАСТИВОСТІ ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА	26
<i>Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К.</i>	
МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АЛГОРИТМИ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ.....	32

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

<i>Цвіркун Л. О., Цвіркун С. Л., Гейсер Г. В., Поплавський Д. Є.</i>	
АВТОМАТИЧНА ФІЛЬТРАЦІЯ ЗОБРАЖЕННЯ ПОТОКУ ЯБЛУК НА КОНВЕЄРНІЙ ЛІНІЇ В СИСТЕМІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЇХ РІЗНОВИДІВ.....	46
<i>Червоний В. М., Старков В. О., Перекрест В. В., Гейсер Г. В., Шамрай Д. С.</i>	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАСОЛЮВАННЯ СТАВКОВОЇ РИБИ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКУ	51
<i>Янаков В. П.</i>	
МЕТОДИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ТЕОРІЇ ПРИГОТУВАННЯ ТІСТА	59

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Ткач М. С.</i>	
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ФАБРИКА З ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ	66
<i>Омельченко О. В., Заїкіна Д. П., Гейсер Г. В., Абрамова О. В.</i>	
СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ І ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКІВ ВІД НЕІОНІЗУЮЧИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ І ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ	80

CONTENT

MODERN TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS

<i>Deynichenko G. V., Guzenko V. V., Omelchenko O. V., Heiier H. V., Kuzmenko A. O.</i>	
ANALYSIS OF RAW MATERIALS AND RATIONAL TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF PECTIN CONCENTRATES	5
<i>Popova S. Yu., Slashcheva A. V., Pusikova O. A., Bodnaruk O. A.</i>	
USAGE AREAS OF SECONDARY RAW MATERIALS IN TECHNOLOGY PRODUCTION OF YEAST DOUGH IN TERMS OF ACCELERATED METHOD.....	12
<i>Yudina T. I., Bezruchenko O. M., Ahapova O. V.</i>	
GLUTEN-FREE CAKES WITH CEREAL FLOUR.....	19

CHEMICAL, PHYSICAL, MATHEMATICAL METHODS OF QUALITY RESEARCH OF FOOD PRODUCTS

<i>Goriainova Yu. A., Nazarenko I. A., Simakova O. O., Bodnaruk O. A.</i>	
STUDY OF THE EFFECT OF BEER PELLET ADDITIVES ON THE BASIC BAKING PROPERTIES OF WHEAT FLOUR.....	26
<i>Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Kopayhora O. K.</i>	
IDENTIFICATION METHODS AND ALGORITHMS OF ADAPTIVE SYSTEMS FOR DIRECT DIGITAL CONTROL OF FOOD PRODUCTION	32

IMPROVEMENT OF PROCESSES AND APPARATUS OF FOOD PRODUCTION

<i>Tsvirkun L. A., Tsvirkun S. L., Heiier H. V., Poplavsky D. E.</i>	
AUTO FILTERING OF APPLE FLOW ON THE CONVEYOR LINE IN THE VARIETY RECOGNITION SYSTEM.....	46
<i>Chervonyi V. M., Starkov V. O., Perekrest V. V., Heiier H. V., Shamray D. S.</i>	
EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PROCESS OF SALTING WATER-HOLE FISH WITH ULTRASOUND.....	51
<i>Yanakov V. P.</i>	
METHODICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF DOUGH PREPARATION THEORY	59

DEVELOPMENT OF A PROGRESSIVE HIGH-EFFICIENT FOOD INDUSTRY EQUIPMENT

<i>Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Kopayhora O. K., Tkach M. S.</i>	
INTELLECTUAL FACTORY FOR BAKERY PRODUCTION	66
<i>Omelchenko O. V., Zaikina D. P., Heiier H. V., Abramova O. V.</i>	
ANALYSIS OF WAYS TO PROTECT EMPLOYEES FROM NON-IONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION AND ELECTRIC FIELDS	80

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Наукове видання

**ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

№ 1 (40) 2020

Тематичний збірник наукових праць

Українською, російською та англійською мовами

Підписано до друку 29.06.2020 р.
Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура «Newton C». Друк — лазерний.
Ум. друк. арк. 10,35. Обл.-вид. арк. 9,18.
Наклад 60 прим. Зам. № ____.

ФОП Маринченко С. В.
вул. Героїв АТО, 81-а, оф. 109,
м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., 50086
Свідоцтво про державну реєстрацію № 030567 від 19.01.2007 р.
тел. (067) 539-66-81