

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

№ 2 (47) 2023

Збірник наукових праць заснований у 1998 році
Виходить двічі на рік

*Журнал внесено до міжнародних наукометричних баз
та інформаційно-аналітичних систем
Index Copernicus, Google Scholar, ResearchBib, Cite Factor, EZB
(Elektronische Zeitschriftenbibliothek),
Advanced Science Index*

Кривий Ріг
ДонНУЕТ
2023

Редакційна колегія

Головний редактор — В. П. Хорольський

Заступник головного редактора — Р. П. Никифоров

Відповідальний секретар серії — А. В. Слащева

Редакційна колегія серії:

Віннікова Л. Г., д-р техн. наук (Одеський національний технологічний університет); *Гейер Г. В.*, канд. техн. наук, д-р техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського); *Гніцевич В. А.*, д-р техн. наук (Державний торговельно-економічний університет); *Гринченко О. О.*, д-р техн. наук (Державний біотехнологічний університет); *Дейниченко Г. В.*, д-р техн. наук (Державний біотехнологічний університет); *Золотухіна І. В.*, д-р техн. наук (Центральноукраїнський національний технічний університет); *Михайлов В. М.*, д-р техн. наук (Державний біотехнологічний університет); *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 (Державний біотехнологічний університет); *Погребняк В. Г.*, д-р техн. наук (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу); *Покотило О. С.*, д-р біол. наук (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя); *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); *Стадник І. Я.*, д-р техн. наук (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя); *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 (Державний торговельно-економічний університет).

***Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»)
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 24.09.2020 р. № 1188)***

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 № 5 від 21.12.2023 р.*

Мова видання: українська та 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, 2023

ISSN 2079-4827

**Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National
University of Economics and Trade**

FOOD PRODUCTION EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES

Thematic collection of scientific works

No 2 (47) 2023

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

*Journal is indexed in the international scientometrical bases
and analytics systems
Index Copernicus, Google Scholar, ResearchBib, Cite Factor,
EZB (Elektronische Zeitschriftenbibliothek),
Advanced Science Index*

Kryvyi Rih
DonNUET
2023

Editorial board

Editor in chief — V. P. Khorolskyi

Deputy editor in chief — R. P. Nykyforov

Executive secretary of series — A. V. Slashcheva

Editorial board of series:

Deynichenko Gryhoriy, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Gnitsevych Viktoriia*, Grand PhD in Engineering sciences (State University of Trade and Economics); *Grinchenko Olha*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Heiier Hryhoriy*, Grand PhD in Economy sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Khomych Halina*, Grand PhD in Engineering sciences (Poltava University of Economics and Trade); *Khorolskyi Valentyn*, Grand PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Mykhailov Valerii*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Nykyforov Radion*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Omelchenko Oleksandr*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Pogrebnyak Volodymyr*, Grand PhD in Engineering sciences (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas); *Pokotylo Oleg*, Grand PhD in Biological sciences (Ternopil Ivan Puluji National Technical University); *Priss Olesya*, Grand PhD in Engineering sciences (Tavria State Agrotechnological University); *Pyvovarov Pavlo*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Slashcheva Alina*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Simakova Olha*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Stadnyk Ihor*, Grand PhD in Engineering sciences (Ternopil Ivan Puluji National Technical University); *Vinnikova Lyudmila*, Grand PhD in Engineering sciences (Odessa National Technological University); *Yudina Tatiana*, Grand PhD in Engineering sciences (State University of Trade and Economics); *Zolotukhina Inna*, Grand PhD in Engineering sciences (Central Ukrainian National Technical University).

This publication is entered in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine (Category “B”) (Order No. 1188 of Ministry of Education and Science of Ukraine of 24.09.2020)

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

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

*Passed for printing under recommendation of Academic Council
of Mykhailo Tugan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade
(transaction No. 5 of 21.12.2023).*

Language of edition: Ukrainian, 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

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2023-47-2-5-11

УДК 664.346

*Гніщевич В. А., д-р техн. наук, професор
Кущенко В.І., магістрант*

Державний торговельно-економічний університет (м. Київ, Україна), e-mail: flamber1965@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЯ ЕМУЛЬСІЙНИХ СОУСІВ НА ОСНОВІ НАПІВФАБРИКАТУ З М'ЯКОТІ ГАРБУЗА

UDC 664.346

*Gnitsevych V., Grand PhD of Engineering
Science, Professor
Kushchenko V., master's degree student*

State University of Trade and Economics (Kyiv, Ukraine), e-mail: flamber1965@gmail.com

TECHNOLOGY OF EMULSION SAUCES BASED ON SEMI-FINISHED PRODUCT FROM PUMPKIN PULP

***Мета.** Метою дослідження є обґрунтування технологічних параметрів емульгування та технології соусу емульсійного типу.*

***Методи.** Предметами досліджень були визначені: напівфабрикат на основі пюре гарбуза, олія соняшникова дезодорована рафінована, модельні системи емульсійного соусу, смакові наповнювачі.*

Емульгування модельних систем здійснювали на лабораторному емульгаторі, для цього у хімічну склянку місткістю 100 мл уміщували зразок, що досліджується, обсягом 10 мл, а потім, додавали олію до настання інверсії фаз.

Показник ефективної в'язкості визначали за допомогою ротаційного віскозиметра ULAB 1-51A методом Брукфільда. Вимірювання здійснюються за температури 5-35°C в діапазоні вимірювання 10-2000000с·Па.

Визначення точки інверсії фаз здійснювалось за методикою Гурова О.М. В процесі вибору раціональних параметрів протікання процесу емульгування враховували середньозважену експертну оцінку консистенції (ЕО, балів).

Хімічний склад соусів визначали розрахунковим методом.

***Результати.** Розроблено технологію напівфабрикату на основі пюре м'якоті гарбуза з подрібненим насінням гарбуза та сироваткою сухою підсирною сухою. Встановлено, що напівфабрикат має достатньо високі стабілізуючі та емульгуючі властивості в широкому діапазоні концентрацій. Обґрунтовано можливість його застосуванням в якості ефективної емульгуючої основи для виробництва соусів емульсійного типу. Проведеними дослідженнями визначено діапазон раціональних параметрів (температури, рН середовища) проведення процесу емульгування. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано можливість розробки нових технологій емульсійної продукції на основі напівфабрикату, представлено інноваційну модель технології соусу емульсійного типу з різними смаковими наповнювачами, що дає можливість розширити асортимент емульсійної харчової продукції, підвищити її харчову та біологічну цінність, більш повно використовувати харчовий потенціал молочної та рослинної сировини.*

Ключові слова: напівфабрикат, м'якоть гарбуза, емульгувальна властивість, ефективна в'язкість, експертна оцінка, інверсія, соус, харчова цінність.

Постановка проблеми. Невід'ємною складовою здорового способу життя є правильне, збалансоване харчування. За результатами моніторингу харчових раціонів встановлено, що найбільш поширеним є їх незбалансованість, яка відзначається нестачею в їжі окремих амінокислот, вітамінів, рослинних олій, мікроелементів, харчових волокон при надмірному споживанні холестерину тваринних жирів і рафінованих продуктів. Порушення вимог збалансованості харчового раціону призводять до зниження темпу зростання та розвитку організму, розумової й фізичної працездатності людини, знижується її стійкість до дії несприятливих зовнішніх чинників, і, як наслідок, призводить до передчасного старіння [1-3].

Особливий інтерес для використання у технологіях комбінованих продуктів викликає рослинна сировина, яка є джерелом цінних у харчовому відношенні інгредієнтів – поліфенольних сполук, поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), вітамінів тощо. До такої сировини можна віднести каротиномісну, а саме гарбуз, що переробляються, головним чином, у консервовану продукцію, або реалізуються у свіжому вигляді, в той час як асортимент напівфабрикатів з них практично відсутній. Іншою цінною рослинною сировиною є насіння гарбуза – вторинний продукт, що не знаходить широкого використання у харчуванні. Поєднання цих компонентів дозволить отримати продукт з покращеною харчовою та біологічною цінністю, певними функціонально-технологічними властивостями.

Проведений аналіз і систематизація літературних джерел щодо проблеми створення напівфабрикатів з підвищеним вмістом біологічно активних речовин дозволили встановити, що перспективним у цьому напрямку є використання рослинної сировини, зокрема м'якоти гарбуза (як джерела β -каротину) та насіння гарбуза (завдяки високому вмісту ПНЖК), а також сироватки молочної підсирної сухої. Розроблена технологія напівфабрикату і за допомогою математичного моделювання був визначено максимально збалансований за амінокислотним та жирнокислотним складом вміст основних компонентів. Дослідження харчової та біологічної цінності дали змогу дійти висновку, що розроблений напівфабрикат характеризується високим вмістом білків, добре збалансований за вмістом незамінних амінокислот (47,05% незамінні та 52,95% замінні амінокислоти), має достатньо високий вміст поліненасичених жирних кислот (20,63% до загальної кількості жирних кислот) [4]. В подальшому постала проблема визначення напрямків використання напівфабрикату. Було висунуто гіпотезу, що завдяки достатньо високому вмісту сироваткових білків, які можуть виступати у ролі емульгаторів, та пектинових речовин, які є стабілізаторами харчових емульсій, можливим напрямком використання напівфабрикату є технології соусів емульсійного типу. Для цього необхідно визначити емульгувальні властивості напівфабрикату та раціональні параметри емульгування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найпоширенішим соусом емульсійного типу є майонез. Згідно з ДСТУ «майонез – харчовий продукт, що являє собою багатокомпонентну, стійку у широкому діапазоні температур (від 0°C до 18°C), дрібнодисперсну емульсію, виготовлену з рафінованих, дезодорованих олій з додаванням емульгаторів, стабілізаторів, смакових добавок та прянощів» [5]. Завдяки своєму складу соус «Майонез» володіє невисокою харчовою та біологічною цінністю, не використовується в лікувально-профілактичному харчуванні, збіднюючи асортимент споживаної продукції.

Проблемами фундаментальних питань теорії та технологій високоякісних емульсійних продуктів надали дослідження таких вчених, як О. О. Гринченко, М. І. Козін, А. Б. Горальчук, П. П. Пивоваров, П. П. Ребіндер, А. А. Шмідт та інші науковці.

Недоліком сучасних українських розробок емульсійних соусів є те, що в їх складі використовуються моно- та дигліцеридів жирних кислот, сорбіт калію, бензоат натрію, солі органічних кислот та інші штучні добавки, що унеможлиблює їх використання в спеціальному та дієтичному харчуванні. В той же час відома технологія отримання емульсійного соусу, до

складу якого, окрім олії, входить сухе знежирене молоко як емульгатор та пюре з моркви, буряка, гарбуза, абрикоси або яблук, що використовується в якості стабілізатора структури. Але авторами запропоновано використання соди харчової для регулювання рН, оцтової кислоти для подовження стоку зберігання, що негативно впливають на біологічну цінність продукту [6].

У роботі [7] обґрунтовано можливість застосуванням в якості емульгувальної системи білково-вуглеводного напівфабрикату, який виготовляється на основі знежиреного молока та ягідного пюре. Встановлено, що білково-вуглеводний напівфабрикат має високі стабілізуювальні та емульгувальні властивості. Визначено раціональну частку введення напівфабрикату до емульсійної продукції, обґрунтовано концентрацію гуарової камеді для стабілізації емульсійних систем, визначено залежність їх стабільності від рН середовища та температури емульгування. Проте такий соус, завдяки фруктовому-ягідній основі, може використовуватися обмежено.

Таким чином просування на ринок соусів емульсійного типу на основі білково-вуглеводної та рослинної сировини стримується недостатнім рівнем прикладних досліджень в цьому напрямку. Тому виникає необхідність проведення досліджень, спрямованих на обґрунтування режимів виробництва емульсійних соусів з урахуванням функціонально-технологічних властивостей розробленого напівфабрикату.

Мета статті. Метою дослідження є обґрунтування технологічних параметрів емульгування та технології соусу емульсійного типу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основною вимогою, що висувається до соусів емульсійного типу, є здатність не змінювати структуру протягом часу. Одним із способів вирішення цієї проблеми є використання харчових композицій у співвідношенні компонентів, яке забезпечує одночасно емульгування та структуроутворення системи.

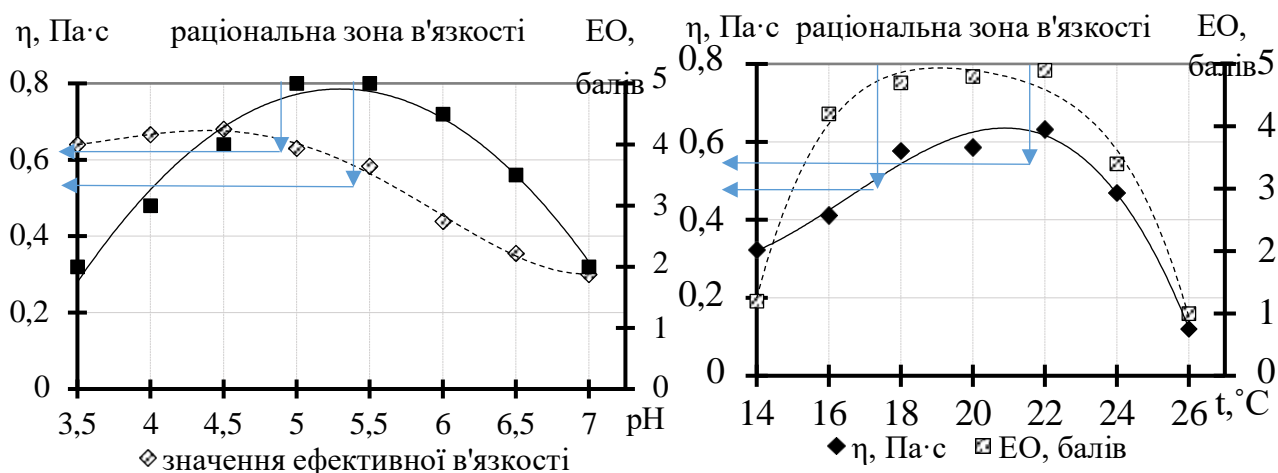
Запропоновано модельні системи емульсійного соусу, що складаються з олії соняшникової рафінованої дезодорованої та напівфабрикату на основі пюре гарбуза. Попередніми дослідженнями встановлено, що емульгувальна здатність напівфабрикату варіюється в діапазоні 40-80%. Тобто є можливість виробляти соуси типу майонез різної жирності. Для досліджень впливу технологічних параметрів на процес емульгування вміст олії в модельній композиції емульсійного соусу складав 50% як такий, що відповідає більш класичній технології легкого майонезу та оцінкам експертів щодо смакових властивостей.

Для отримання емульсійної структури із заданими структурно-механічними показниками важливим є визначення впливу технологічних факторів на процес емульгування. При виробництві емульсійних соусів на етапі емульгування найбільш повно характер процесу описують зміни показників в'язкості (η , Па·с) та інверсійної стійкості (V , %). Основними чинниками, що на них впливають, є значення рН середовища та температури емульгування (t , °С).

Досліджували вплив рН середовища на ефективну в'язкість модельної системи (рис. 1). Залежність в'язкості модельної системи від температури емульгування представлено на рис.2. Емульгування здійснювали в діапазоні температур від 14°С до 26°С.

Із результатів дослідження, наведених на графіках, можна констатувати, що за показниками ефективної в'язкості раціональним діапазоном рН середовища є 4...4,5 (рис. 1). Але за смаковими властивостями перевага експертами надана системам з діапазоном рН=5...5,5. Суттєвого зниження в'язкості зі зменшенням кислотності систем не відзначено. Оскільки рН середовища є визначальними і для смакових характеристик продукту, в подальшому всі модельні системи досліджували за рН=5,5.

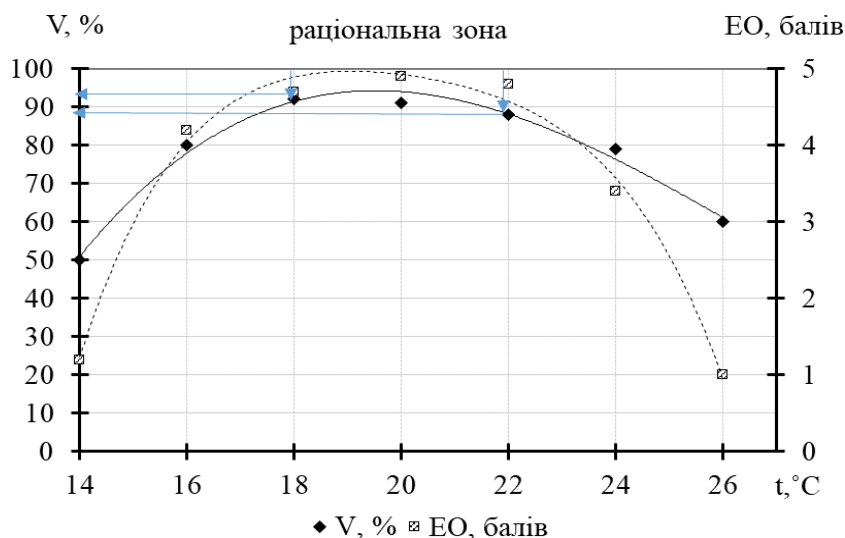
Раціональною визначена температура емульгування 18...22°С (рис. 2). Модельні системи соусів, отриманих за такими діапазонами режимів виробництва, оцінені експертами з максимальними оцінками якості.



Рисунки 1 та 2: Залежність ефективної в'язкості емульсійних систем (η , Па·с) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) від рН середовища

Рисунки 1 та 2: Залежність ефективної в'язкості емульсійних систем (η , Па·с) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) за різних температур (t , °С)

Досліджували залежність інверсії фаз емульсійних систем від температури проведення емульгування, дані представлені на рис. 3.



Рисунки 3 та 4: Залежність інверсії (V , %) та експертної оцінки консистенції (ЕО, балів) за різних температур (t , °С)

Аналіз залежності інверсії від температури емульгування (рис. 3) показав, що раціональним визначено також діапазон температур від 18°C до 22°C, за яких емульгувальна здатність системи є максимальною і становить відповідно 58...90%, зберігаючи при цьому однорідність системи без ознак коалесценції жирових кульок достатньо тривалий час. Даний факт відзначено відповідно високими балами експертної оцінки.

Базуючись на отриманих результатах, запропоновано технологію базового соусу типу майонез. За контроль прийнято класичну рецептуру емульсійного соусу «Провансаль 67% жирності» [4]. Вміст жиру в контрольному зразку становить 67%, в досліджуваних соусах – 50%, відповідно до результатів органолептичних досліджень.

Інноваційна технологія соусів передбачає використання в якості основного компоненту напівфабрикату на основі м'якоті гарбуза, який буде виступати емульгатором завдяки вмісту

сироваткових білків, і структуроутворювачем завдяки високому вмісту пектинових речовин. Порошкоподібне насіння гарбуза як компонент напівфабрикату буде виступати в якості стабілізатора, ущільнюючи міцність міжфазних адсорбційних шарів.

Принциповою технологічною схемою виробництва соусу передбачається введення олії рослинної і смакових компонентів до напівфабрикату та проведення процесу емульгування зі стандартною для майонезу швидкістю 0,1 мл/с за 20...22°C протягом $(1,1...1,2) \times 60$ с з метою збереження глянцевої поверхні та запобігання розшаруванню (рис. 4).

З метою розширення асортименту емульсійних соусів можливе додавання різних смакоароматичних компонентів до їх складу. Зокрема, в основний емульсійний соус можна додавати яблучне або сливове пюре, яке пасує до смаку гарбуза.

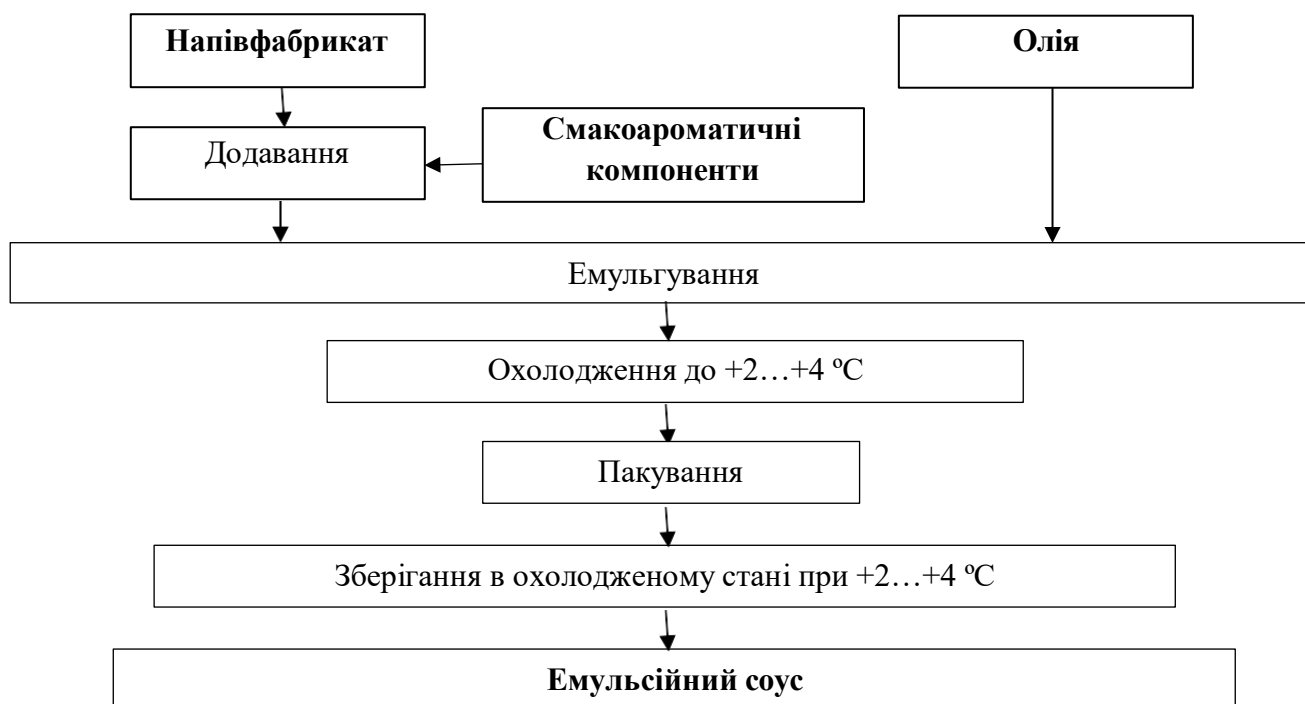


Рисунок 4 – Принципова технологічна схема отримання соусів емульсійного типу

Отримана лінійка соусів емульсійного типу характеризується комплексом показників якості, серед яких найвагомішими є харчова та біологічна цінність.

Вміст основних харчових речовин та енергетичну цінність соусів емульсійного типу порівняно з контролем наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад та енергетична цінність соусів, $n=5$, $P \leq 0,05$

Показник	Одиниця вимірювання	Контроль	Соус емульсійний
Масова частка: вологи	г/100г	21	18,5
золи		1,5	2,18
білків		2,8	5,7
жирів		67	53
вуглеводів		3,7	21,2
Енергетична цінність, ккал	Ккал	629	584

Отриманий соус відзначається меншою вологістю, більшою зольністю за рахунок вмісту насіння гарбуза, меншим вмістом жиру за рахунок зменшення вмісту олії як рецептурного компонента. Значно збільшився вміст вуглеводів, що стало наслідком використання рослинної основи для соусу. Вміст білку збільшився вдвічі за рахунок внесення до напівфабрикату сироватки молочної сухої підсирної.

Висновки. На підставі проведених досліджень встановлено, що напівфабрикат має достатньо високі стабілізуювальні та емульгувальні властивості в широкому діапазоні концентрацій. Визначена можливість його застосуванням в якості ефективної емульгуювальної основи для виробництва емульсійних соусів. Визначено, що в діапазонах температури 20...22°C та рН=5,0...5,5 емульсійні модельні системи мають максимальну ефективну в'язкість та стійкість до розшарування. Розроблена принципова технологія соусів емульсійного типу. Визначено, що соус характеризується високою харчовою та біологічною цінністю, підвищеним вмістом білкових речовин. Використання напівфабрикату в технологіях емульсійних соусів дозволить розширити асортимент продукції з підвищеним вмістом білка.

Список літератури

1. Смоляр В. Основні тенденції в харчуванні населення України. *Проблеми харчування*. 2019. № 2. С. 5–9.
2. Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України. *Державна служба статистики України*. 2019. С. 12. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/07/zb_bsoph2018_pdf.pdf
3. Інноваційні технології харчової продукції: колективна монографія / за заг. ред. Г.В. Дейниченка. Харків: Факт, 2019. 248 с.
4. Гніщевич В., Кущенко В. Технологія та якість напівфабрикату на основі м'якоти гарбуза для оздоровчого харчування. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2021. № 2(43). С. 5-11.
5. ДСТУ 4487:2005. Майонези. Загальні технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 22 с.
6. Пат. 28805 УА, МПК А 23 Л 1/24. Емульгований соус / Т. Я. Романова, Т. П. Федорова; НДПКІ «Консервпромкомплекс» (Україна). № 97094774; Заявлено 25.09.97; Опубл. 17.06.2002; Бюл. № 5. 5с.
7. Никифоров Р. П., Гніщевич В. А. Обґрунтування технології емульсійних соусів із застосуванням білково-вуглеводного напівфабрикату. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2015. № 3/10 (75). С. 15-19.

References

1. Smolyar, V. (2019). Main tendencies in nutrition of the population of Ukraine [Osnovni tendentsiyi v kharchuvanni naseleennya Ukrayiny]. *Problemy kharchuvannya*, No. 2, pp. 5–9.
2. Balance and living of the main products of food for the population of Ukraine (2019). [Balansy ta spozhyvannya osnovnykh produktiv kharchuvannya naseleenniam Ukrainy]. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. P. 12.
3. Dejnychenko, H. ets. (2019). Innovative technologies of food products [Innovatsijni tekhnolohii kharchovoi produktsii]: *monohrafiia*. Kharkiv: Fakt, 248 p.
4. Hnitsevych, V., Kushchenko, V. (2021). *Tekhnolohiia ta iakist' napivfabrykatu na osnovi m'iakoti harbuza dlia ozdorovchoho kharchuvannya* [Technology and quality of a semi-finished product based on pumpkin pulp for health food], *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], 2 (43), p. 5-11.
5. DSTU 4487:2005. *Majonezy. Zahal'ni tekhnichni umovy* [Mayonnaise. General technical conditions]. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. 22 p.
6. Pat. 28805 UA, MPK A 23 L 1/24. *Emulsion souse* [Emul'hovanyj sous] / T. Ya. Romanova, T. P. Fedorova; NDPKI «Konservpromkompleks» (Ukraine). № 97094774;

Zaiavleno 25.09.97; Publ. 17.06.2002; Bull. № 5. 5 p.

7. Nykyforov, R. P., Hnitsevykh, V. A. (2015). *Obgruntuvannia tekhnolohii emul'sijnykh sousiv iz zastosuvanniam bilkovo-vuhlevodnoho napivfabrykatu* [Justification of the technology of emulsion sauces using a protein-carbohydrate semi-finished product], *Skhidno-ievropejskyj zhurnal peredovykh tekhnolohij* [Eastern European Journal of Advanced Technologies], 3/10 (75), p. 15-19.

Objective. *The aim of the study is to substantiate the technological parameters of emulsification and the technology of emulsion-type sauce.*

Methods. *The subjects of research were defined as: semi-finished product based on pumpkin puree, deodorized refined sunflower oil, model systems of emulsion sauce, flavor fillers. Emulsification of model systems was carried out on a laboratory emulsifier; for this, a 10 ml sample was placed in a chemical beaker with a capacity of 100 ml, and then oil was added until phase inversion occurred. The effective viscosity index was determined using a rotary viscometer ULAB 1-51A by the Brookfield method. Measurements are made at a temperature of 5-35°C in the measurement range of 10-2000000s·Pa. Determination of the phase inversion point was carried out according to the method of O. M. Hurov. In the process of choosing the rational parameters of the emulsification process, the weighted average expert evaluation of the consistency (EO, points) was taken into account. The chemical composition of the sauces was determined by the calculation method.*

Results. *The technology of a semi-finished product based on mashed pumpkin pulp with crushed pumpkin seeds and dry curd whey has been developed. It was established that the semi-finished product has sufficiently high stabilizing and emulsifying properties in a wide range of concentrations. The possibility of its use as an effective emulsifying base for the production of emulsion-type sauces is substantiated. The conducted studies determined the range of rational parameters (temperature, pH of the environment) for the emulsification process. On the basis of the conducted theoretical and experimental studies, the possibility of developing new technologies of emulsion products based on semi-finished products is substantiated, an innovative model of emulsion-type sauce technology with various flavor fillers is presented, which makes it possible to expand the range of emulsion food products, increase their nutritional and biological value, and more fully use food the potential of dairy and vegetable raw materials.*

Keywords: *semi-finished product, pumpkin flesh, emulsifying property, effective viscosity, expert evaluation, inversion, sauce, nutritional value.*

Yudina T. I., Grand PhD of Engineering Science, Professor
Lukyanenko L. V., a graduate of a master's degree
Sibirtsev Ye. O., a graduate of a master's degree

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

TECHNOLOGY OF SOUR MILK DESSERTS BASED ON BUTTERMILK

УДК 637.344:637.146.34

Юдіна Т. І., д-р техн. наук, професор
Лук'яненко Л. В., здобувач ОС магістр
Сібірцев Є. О., здобувач ОС магістр

Державний торговельно-економічний університет (м. Київ, Україна), e-mail: yudina2902@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЯ КИСЛОМОЛОЧНИХ ДЕСЕРТІВ НА ОСНОВІ СКОЛОТИН

Objective. *Development of the technology of whipped sour-milk desserts based on buttermilk and determination of their quality.*

Methods. *Standard, generally accepted and special research methods were used in the work, which ensured the fulfillment of the assigned tasks. Sampling and preparation for research was carried out according to DSTU ISO 6498:2006. The mass fraction of dry substances was determined by the refractometric method. The mass fraction of protein was determined by the Kjeldahl method. Determination of the mass fraction of fat was carried out by the Soxhlet extraction-weighing method in Rushkovsky's modification. The mass fraction of carbohydrates was determined by the Bertrand-Bierri centrifuge method. Determination of the mass fraction of mineral substances was carried out by the X-ray fluorescence method using the Spectroscan spectrometer.*

Results. *The expediency of using secondary dairy raw materials, in particular scotch, in the technology of whipped sour-milk desserts is substantiated. The technological scheme of their production was developed. In the developed technology, a milk-protein concentrate of buttermilk is used as a sour milk base, liquid base is buttermilk, and the structure-forming component is xampane biopolymer. The nutritional value of whipped sour-milk desserts based on buttermilk was studied. It has been proven that the developed desserts are not inferior in terms of organoleptic indicators and nutritional value to desserts made according to traditional technology on the basis of low-fat sour milk cheese. The proposed technology will make it possible to make the most complete use of the nutritional potential of milk and expand the range of low-calorie sour-milk desserts with improved quality characteristics.*

Keywords: *secondary dairy raw materials, buttermilk, milk-protein concentrate, sour-milk desserts, organoleptic indicators, nutritional value.*

Formulation of the problem. In modern conditions, the development of any branch of the food industry is inextricably linked to the implementation of the concept of greening - the rational use of natural resources based on the principles of low- and zero-waste technologies.

With the traditional technology of industrial processing of milk into butter, cheeses and caseinates, by-products are obtained: skimmed milk, buttermilk, milk whey, which are classified as secondary resources of the dairy industry with the general name - protein-carbohydrate dairy raw materials. 50...73% of dry matter goes to it - almost the entire protein, carbohydrate and mineral complex of whole milk [1, 2].

The total resources of secondary dairy raw materials (SDRM) in Ukraine make up 70% of the volume of processed milk and reach 2.9...3.2 million tons every year. The significant volume and high nutritional value of the SDRM determine the need for its full collection and rational use in the production of food products.

Therefore, taking into account today the limitations of natural food resources, the need for rational use of the biopotential of domestic secondary dairy raw materials (buttermilk, skimmed milk, whey), the problem of finding directions for its inclusion in the diet and its use in food production technologies becomes dominant.

Analysis of recent research and publications. The research of many domestic and foreign scientists is dedicated to the creation of scientific and practical principles for the use of secondary dairy raw materials in food technology: Hnitsevich V. A., Grinchenko O. A., Deinichenko G. V., Zolotukhina I. V., Polishchuk G. E., Romanchuk I. O., Solomon A. M., Tkachenko N. A., Trubnikova A. A., Chagarovsky O. P., Yudina T. I., Misselwitz B. and others [3-13].

Despite the large number of scientific studies, work in this direction is constantly continued and, on the one hand, lies in the area of the use of food additives and their mixtures, and, on the other hand, involves the involvement of new raw materials in the technological cycle, which are a natural source of essential substances and has a wide range of technological properties. Therefore, it is of scientific and practical interest to develop innovative technologies for food products, in particular sour-milk desserts based on secondary dairy raw materials.

Desserts play an important role in supplying the human body with the necessary nutrients, contribute to the feeling of satiety, but due to the increased content of fats and carbohydrates, they belong to the group of high-calorie dishes.

A large group of dairy sweet dishes are desserts that contain fermented milk products as a milk base: sour milk cheese, sour cream, yoghurt, acidophilic milk, koumiss, etc. This group of sweet dishes in a composition with different fillers makes up a wide variety of desserts.

One of the types of secondary dairy raw materials, which is formed at the stage of curdling or separation of cream during the production of butter, is buttermilk. The nutritional potential of buttermilk and its functional properties meet all the requirements for raw materials for protein structured dairy products. When this type of secondary dairy raw material is obtained, 80-90% of milk proteins, 0.4-0.7% of milk fat, a significant part of minerals and water-soluble vitamins go into its composition [1, 5]. It should be noted that the mineral substances in the flakes are in well-balanced proportions for the average adult consumer and in an easily digestible form.

The biological value of buttermilk is due to the presence in them of a biologically active complex of antisclerotic substances – lecithin. Buttermilk meet the requirements of lipotropicity, having a high biological value with a low energy value of the product and are recommended for wide implementation in the practice of nutrition of the population leading an active lifestyle, as well as people in a state of hypokinesia.

The functional properties of buttermilk proteins are the ability to emulsify milk fat, stabilize fat emulsion, increase the water-binding and water-absorbing capabilities of food systems, which contributes to the production of stable fine-porous foams [1, 5]. Buttermilk is a great reserve for the production of structured (whipped) low-fat sour-milk desserts.

The objective of the article. The objective of this article is the development of the technology of whipped sour-milk desserts based on buttermilk and determination of their quality.

Presentation of the main research material. According to traditional technology, low-fat sour-milk desserts are a multi-component mixture, whipped by aeration, consisting of the following components: skimmed milk base, fruit and berry filler, sweetener, emulsifier, foaming agent, structure

stabilizer, flavouring and aromatic substances, food dyes. The listed components are used in various combinations and ratios.

Milk-protein concentrate (MPC) of buttermilk obtained by thermo-acid coagulation [1, 5, 6] is used as the sour-milk base of the whipped dessert based on buttermilk. This product is a new non-traditional type of raw material, which according to organoleptic indicators resembles low-fat fermented milk cheese, but has increased nutritional value. Thus, milk-protein concentrate from buttermilk contains 15...20% more proteins than sour-milk cheese, which is due to the increased content of valuable whey proteins. Milk fat content containing biologically valuable fat acids: linoleic, linolenic, arachidonic, exceeds almost 2 times their content in low-fat sour milk cheese. The homogeneous consistency of MPC made of buttermilk makes it possible to use it as a basis for structured products.

The liquid base is made from buttermilk obtained by churning cream on non-stop butter makers. As a structure-forming component, the biopolymer xampan is used, which is a domestic analogue of the well-known structure-former – xanthan. The choice of this hydrocolloid is determined by its foam-forming and foam-stabilizing properties in wide temperature ranges.

Flavour and aroma fillers, which are usually added to whipped milk desserts, give them a specific taste and aroma, stimulants act on the nervous and digestive systems, contribute to their better assimilation. In addition, their use allows you to significantly expand the range of dairy desserts. The following are used as recipe components of flavouring and aromatic substances: cocoa powder and strawberry puree. Granulated sugar is used as the main sweetener.

On the basis of a series of preliminary experiments and taking into account the experience of domestic and foreign researchers, a technological scheme for the production of sour-milk dessert based on buttermilk was developed (fig. 1). According to this scheme, the preparation of recipe components includes the reception and grinding of the main types of raw materials, cleaning from mechanical impurities (sugar sieving).

According to its physical properties, xampan is a substance that dissolves in water at room temperature, but the process of dissolving the stabilizer in the buttermilk is complicated by the presence of additional substances (milk fat, proteins, carbohydrates, etc.). Therefore, the optimal temperature regime was determined, which affects the aggregate state of milk fats and proteins, reducing the viscosity of the low-fat milk system with an increase in the thermal movement of molecules, which, in turn, has a positive effect on the process of dissolving xampan in the buttermilk. It was established that the dissolution of polysaccharide in the buttermilk when the temperature of the liquid phase is increased to 35...40°C shortens the dissolution time to (80...90)·60 s.

On the basis of previously conducted experiments on model dairy systems [5-8], rational concentrations of xampan in the buttermilk were determined to obtain a foam-like structure with a maximum shelf life. The results of these studies showed that the optimal concentration of the xampan structuring agent in the buttermilk is 0.7%. This concentration allows you to get a lush, thin foam with a measurable "lifetime", which breaks down slightly during storage.

Pasteurization of the mixture of buttermilk and xampan is necessary to give them the necessary organoleptic and medical-biological properties. As a result of experimental studies, it was found that pasteurization at a temperature of 84...86 °C for a duration of (3...5)·60 s kills pathogenic microorganisms and gives the chips good organoleptic properties.

Cooling to a temperature of 2...4°C, which allows to mix buttermilk with other recipe components, further cooling of the product allows to inhibit the possible development of pathogenic microorganisms.

To obtain a foam structure, the most widespread method of mechanical mixing of the mixture is used. The mechanism of foam formation according to this method assumes that upon entering the dispersed medium, the blade of the whisk leaves an air trail in the surface layer, the mouth of this air chamber closes and a certain amount of air is drawn into the product. That way a certain cycle occurs and the air is dispersed in the product, acquiring the required consistency.

Portioning and selling to consumers is the last stage of the technological process of the production of whipped sour-milk dessert based on buttermilk.

The organoleptic indicators of whipped sour-milk desserts based on crumbs are given in Table 2.

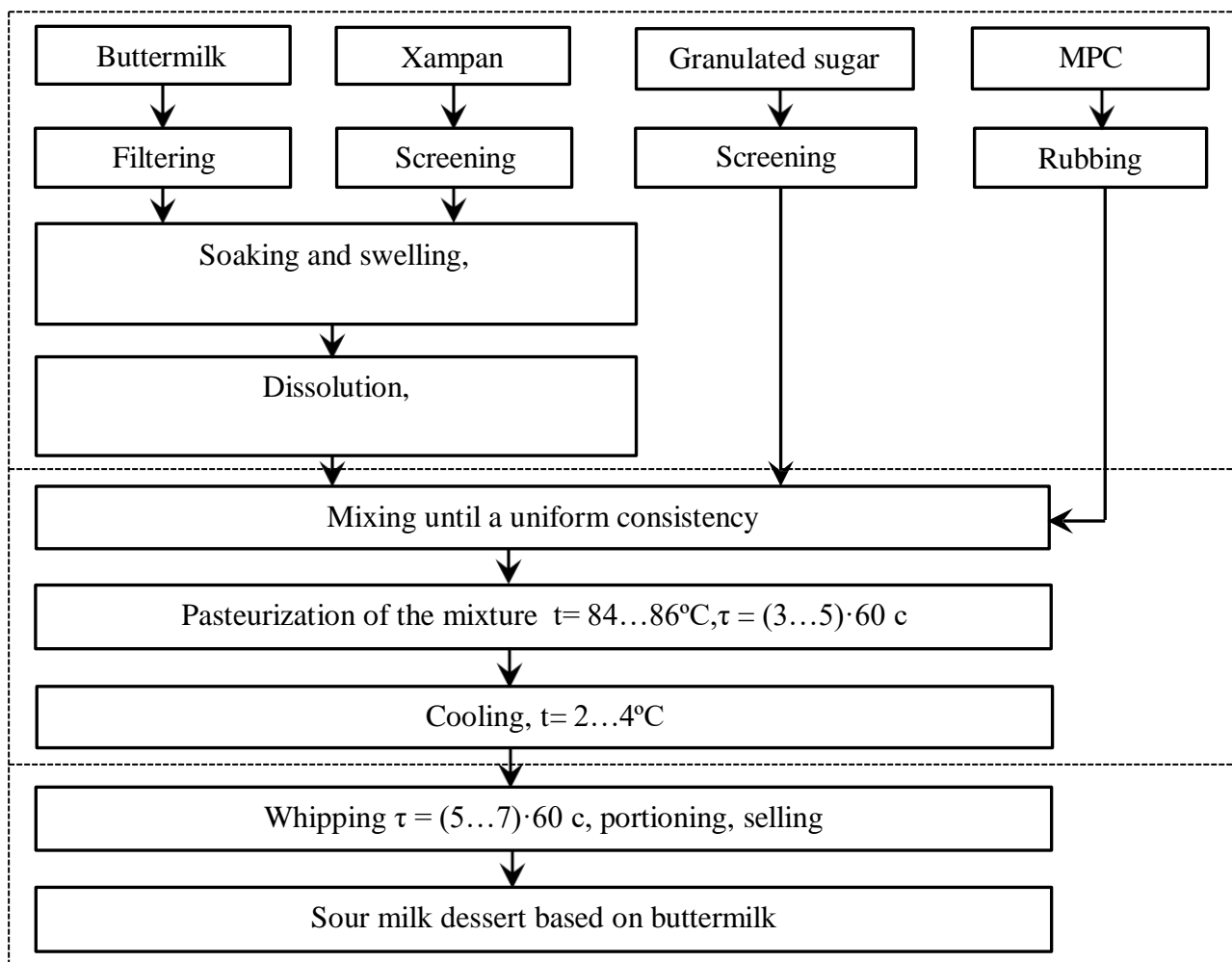


Figure 1 – Technological diagram of the production of a whipped sour-milk dessert based on buttermilk

Table 1 – Organoleptic indicators of whipped sour-milk desserts based on buttermilk

Name of indicators	Characteristics of indicators
Appearance	A foamy, delicate mass with a glossy surface without coarse inclusions, without delamination of the structure and visible release of liquid
Consistency	Soft, foamy, creamy
Taste	Sweet, characteristic of dairy products, with a taste of flavour filler
Smell	Pleasant, characteristic of dairy products, without extraneous odors
Colour	Homogeneous, characteristic of the colour of the filler

Table 2 presents the estimated chemical composition [14, 15] of the new products, which shows that the structured dessert products developed on the basis of buttermilk mainly exceed the control of the content of proteins, minerals and vitamins. This corresponds to the previously formulated task of developing products with a low caloric content along with an increased content of biologically active substances.

The developed technology makes it possible to obtain whipped sour-milk desserts, the organoleptic indicators and nutritional value of which are not inferior to desserts made according to traditional technology on the basis of low-fat sour-milk cheese. Desserts based on buttermilk are recommended to be used in dietary and medical and preventive nutrition.

Table 2 – Nutritional value of whipped sour-milk desserts based on buttermilk (n=5, P≤0,05)

Indicator	Sour milk dessert based on buttermilk	Cheese dessert (control)
Proteins, g	16.9	14.7
Fats, g	1.1	1.78
Carbohydrates, g	28.9	32.7
Mineral substances, mg		
Calcium	167.8	147.4
Magnesium	48.3	24.6
Phosphorus	240.7	165.7
Ferum	0.38	0.72
Vitamins, mg		
A (retinol)	0.2	0.02
B ₁ (thiamine)	0.1	0.06
B ₂ (riboflavin)	0.2	0.22
PP (niacin)	0.7	0.4

Conclusions. Thus, as a result of the conducted research, the recipe components and parameters of the technological process of the production of whipped sour-milk desserts based on buttermilk were determined and substantiated. The new technology will make it possible to make the most complete use of the nutritional potential of milk and expand the range of low-calorie sour-milk desserts with improved quality characteristics.

References

1. Yudina, T. I. (2016). *Naukove obgruntuvannya tekhnolohiy strukturovanoyi kulinarnoyi produktsiyi z vykorystannyam kontsentratu skolotyln: dys. ... dokt. tekhn. nauk* [Scientific substantiation of technologies of structured culinary products with the use of buttermilk concentrate: dissertation], Kyiv, 405 p.
2. Moshkovs'ka, O. A. (2019). *Analysis of the current state of the dairy complex of Ukraine, the problems of its development and ways to solve them* [Analiz suchasnoho stanu molokoproduktovoho kompleksu Ukrainy, problemy yoho rozvytku ta shlyakhiv yikh vyrishennya], *Ahrosvit [Agrosvit]*, no. 18, pp. 16–23.
3. Gnitsevich, V., Yudina, T., Gonchar, Y. (2018). *Tekhnolohiya napivfabrykatu na osnovi nyz'kolaktoznoyi molochnoyi syrovatky ta m'yakoti harbuza* [Semi-finished product technology based on low-lactose whey and pumpkin pulp], *Tovary i rynky* [Goods and markets], no. 4, pp. 105-114.
4. Grynchenko, N. G., Pyvovarov, P. P., Grynchenko, O. O., Tyutyukova, D. O., Plotnikova, R. V. (2018). *Vplyv tekhnolohichnykh chynnykiv na strukturno-mekhanichni ta tekhnolohichni vlastyvoli napivfabrykativ iz syru kyslomolochnoho* [The influence of technological factors on the structural, mechanical and technological properties of semi-finished products from sour milk cheese], *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii* [Technical sciences and technologies], 2 (12), pp. 204-215.
5. Dejnychenko, H. ets. (2019). *Innovatsijni tekhnolohii kharchovoi produktsii* [Innovative technologies of food products]: monograph. Kharkiv: Fakt, 248 p.
6. Zolotukhina, I. V. (2021). *Naukove obgruntuvannya tekhnolohiy napivfabrykativ na osnovi tsil'ovoho vykorystannya nutriyentiv bilkovo-vuhlevodnoyi molochnoyi syrovyny: dys. ... dokt. tekhn. nauk* [Scientific substantiation of technologies of semi-finished products on the basis of target use of nutrients of protein-carbohydrate dairy raw materials: dissertation], Kharkiv, 400 p.

7. Romanchuk, I. O. Minorova, A. V. Rudakova, T. V. Moiseyeva, L. O. (2020). *Zakonomirnosti fermentatyvnoho hidrolizu laktozy v molochniy syrovyni* [Regularities of enzymatic hydrolysis of lactose in raw milk], *Prodovol'chi resursy* [Food resources], no.14. pp. 165-174.
8. Grek, O. V., Polishchuk, G. E., Onopriyчук, O. O. (2011). *Tekhnolohiya produktiv zi znezhyrenoho moloka, molochnoyi syrovatky i maslyanky* [Technology of products from skim milk, whey and buttermilk], Kyiv, 258 p.
9. Solomon A., Bondar M., Dyakonova A. (2019). Substantiation of technology of fermented sour-milk desserts with bifidogenic properties, *Eastern European Journal of Enterprise technologies. Technology and equipment of food production*, 1/11 (97), pp. 6-16.
10. Didukh, N. A., Romanchenko, S. V. (2012). *Naukovi osnovy vyrobnytstva napoyu kyslomolochnoho dlya dytyachoho kharchuvannya z podovzhenym terminom zberihannya* [Scientific bases of production of sour-milk drink for children's food with extended term of storage], *Naukovi pratsi Odes'koyi natsional'noyi akademiyi kharchovykh tekhnolohiy* [Scientific works of Odessa national academy of food technologies], 42 (2), pp. 251-259.
11. Trubnikova, A. A. (2019). *Rozroblennya tekhnolohiyi bezlaktoznoho kontsentratu maslyanky iz zadamy skladom nutriyentiv: dys. ... kand. tekhn. nauk* [Development of technology of lactose-free buttermilk concentrate with nutrients in nutrients: dissertation], Odessa, 253 p.
12. Chaharovs'kyu, O. P., Pohosyan, A. S. (2006). *Hidroliz laktozy preparatamy b-halaktozydazy – novyyu napryamok pidvyshchennya efektyvnosti vyrobnytstva morozyva i zamorozhenykh desertiv* [Hydrolysis of lactose by β -galactosidase preparations – a new direction of increasing the efficiency of production of ice cream and frozen desserts], *Svit morozyva ta kholodu* [World of ice cream and cold], 5 (17), pp. 36-39.
13. Misselwitz, B., Pohl, D., Frühauf, H., Fried, M., Vavricka, S. R., Fox, M. (2013). Lactose malabsorption and intolerance: pathogenesis, diagnosis and treatment. *United European gastroenterology journal*, 1 (3), pp. 151–159.
14. *Khimichnyy sklad i fizychni kharakterystyky molochnykh hproduktiv. Dovidnyk* [Chemical composition and physical characteristics of dairy products. Handbook] (2012) / Skarboviychuk, O. M., Kochubey-Lytvynenko, O. V., Chernyushok, O. A., Fedorov, V. H. Kyiv, 311 p.
15. *Zbirnyk retseptur natsionalnykh strav ta kulinarykh vyrobiv: dlia pidpriemstv hromad. kharchuvannya vsikh form vlasnosti* [A collection of recipes for national dishes and culinary products: for community enterprises. nutrition of all forms of ownership] (2007) / O. V. Shalimov, T. P. Dyatchenko, L. O. Kravchenko et al. K.: A.S.K., 2007. 848 p.

Список літератури

1. Юдіна Т. І. Наукове обґрунтування технологій структурованої кулінарної продукції з використанням концентрату сколотин: дис. ... докт. техн. наук: 05.18.16 / Київський національний торговельно-економічний університет. Київ, 2016. 405 с.
2. Мошковська О. А. Аналіз сучасного стану молокопродуктового комплексу України, проблеми його розвитку та шляхів їх вирішення. *Агросвіт*. 2019. №18. С. 16-23.
3. Гніщевич В. Технологія напівфабрикату на основі низьколактозної молочної сироватки та м'якоті гарбуза / В. Гніщевич, Т. Юдіна, Ю. Гонча. *Товари і ринки*. 2018. №4. С. 105–114.
4. Гринченко Н. Г., Пивоваров П. П., Гринченко О. О., Тютюкова Д. О., Плотнікова, Р. В. Вплив технологічних чинників на структурно-механічні та технологічні властивості напівфабрикатів із сиру кисломолочного. *Технічні науки та технології*. 2018. 2(12). С. 204-215.
5. Інноваційні технології харчової продукції: колективна монографія / за заг. ред. Г. В. Дейниченка. Харків: Факт, 2019. 248 с.
6. Золотухіна І. В. Наукове обґрунтування технологій напівфабрикатів на основі цільового використання нутрієнтів білково-вуглеводної молочної сировини: дис. ... докт. техн. наук: 05.18.16 / Харківський державний університет харчування та торгівлі. Харків, 2021. 400 с.

7. Романчук І. О. Мінорова А. В. Рудакова Т. В. Моїсеєва Л. О. Закономірності ферментативного гідролізу лактози в молочній сировині. *Продовольчі ресурси*. 2020. № 14. С. 165-174.
8. Грек О. В., Поліщук Г. Є., Онопрійчук О. О. Технологія продуктів зі знежиреного молока, молочної сироватки і маслянки: навч. посіб. Київ: НУХТ, 2011. 258 с.
9. Solomon A., Bondar M., Dyakonova A. Substantiation of technology of fermented sour-milk desserts with bifidogenic properties. *Eastern European Journal of Enterprise technologies. Technology and equipment of food production*. 2019. №1/11 (97). С. 6-16.
10. Дідух Н. А., Романченко С. В. Наукові основи виробництва напою кисломолочного для дитячого харчування з подовженим терміном зберігання. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2012. №. 42(2). С. 251-259.
11. Трубнікова А. А. Розроблення технології безлактозного концентрату маслянки із задами складом нутрієнтів: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Одеська національна академія харчових технологій. Одеса, 2019. 253 с.
12. Чагаровський О. П., Погосян А. С. Гідроліз лактози препаратами β -галактозидази – новий напрямок підвищення ефективності виробництва морозива і заморожених десертів. *Світ морозива та холоду*. 2006. №5 (17). С. 36-39.
13. Misselwitz B., Pohl D., Frühauf H., Fried M., Vavricka S. R., Fox M. Lactose malabsorption and intolerance: pathogenesis, diagnosis and treatment. *United European gastroenterology journal*. 2013. Т. 1. № 3. Р. 151–159.
14. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів: довідник / О. М. Скарбовійчук, О. В. Кочубей-Литвиненко, О. А. Чернушок, В. Г. Федоров. Київ: НУХТ, 2012. 311 с.
15. Збірник рецептур національних страв та кулінарних виробів: для підприємств громад. харчування всіх форм власності / О. В. Шалімов, Т. П. Дятченко, Л. О. Кравченко та ін. К.: А.С.К., 2007. 848 с.

Мета. Розроблення технології збитих кисломолочних десертів на основі сколотин та визначення їх якості.

Методи. У роботі використано стандартні загальноприйняті та спеціальні методи досліджень, які забезпечили виконання поставлених завдань. Відбір проб і підготовку їх до дослідження здійснювали за ДСТУ ISO 6498:2006. Масову частку сухих речовин визначали рефрактометричним методом. Масову частку білку визначали методом К'ельдаля. Визначення масової частки жиру проводили екстракційно-ваговим методом Сокслета в модифікації Рушковського. Масову частку вуглеводів визначали центрифужним метод Бертрана-Б'єррі. Визначення масової частки мінеральних речовин проводили рентгенофлуоресцентним методом за допомогою спектрометра «Спектроскан».

Результати. Обґрунтовано доцільність використання вторинної молочної сировини, зокрема сколотин, у технології збитих кисломолочних десертів. Розроблено технологічну схему їх виробництва. У розробленій технології в якості кисломолочної основи використано молочно-білковий концентрат сколотин, рідинної основи – сколотини, структуроутворюючого компонента – біополімер ксампан. Досліджено харчову цінність збитих кисломолочних десертів на основі сколотин. Доведено, що розроблені десерти за органолептичними показниками та харчовою цінністю не поступаються десертам, що виготовлені за традиційною технологією на основі знежиреного кисломолочного сиру. Запропонована технологія дозволить найбільш повно використовувати харчовий потенціал молока та розширити асортимент низькокалорійних кисломолочних десертів з покращеними якісними характеристиками.

Ключові слова: вторинна молочна сировина, сколотини, молочно-білковий концентрат, кисломолочні десерти, органолептичні показники, харчова цінність.

Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences, Associate Professor¹
Zolotukhina I. V., Grand PhD of Engineering Science, Associate Professor²
Bodnaruk O.A., assistant¹
Pereverzev O. P., a graduate of a master's degree¹

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

²Central Ukrainian National Technical University (Kropyvnytskyi, Ukraine), e-mail: zolotce5@gmail.com

TECHNOLOGY AND NUTRITIONAL VALUE OF A FUNCTIONAL PURE-LIKE SEMI-PRODUCT FOR DESSERTS AND BEVERAGES

УДК 664.5:664.87

Слащева А. В., канд. техн. наук, доцент¹
Золотухіна І. В., д-р техн. наук, доцент²
Боднарук О. А., асистент¹
Переверзєв О. П., здобувач ОС магістра¹

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

²Центральноукраїнський національний технічний університет (м. Кропивницький, Україна), e-mail: zolotce5@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ХАРЧОВА ЦІННІСТЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПОРЕПОДІБНОГО НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ ДЕСЕРТІВ ТА НАПОЇВ

Objective. *The objective of the article is the scientific substantiation and practical development of the technology of a functional semi-finished product for sweet dishes and drinks based on pumpkin, quince and sea buckthorn puree.*

Methods. *Sampling was carried out in accordance with DSTU ISO 874-2002, preparation of samples for laboratory analyzes – in accordance with DSTU 7040:2009. Physico-chemical indicators were determined in accordance with DSTU 8639:2016 "Fruit purees and semi-finished products. General technical conditions", as well as: content of dry substances in raw materials - according to DSTU ISO 751-2004; mass fraction of soluble solids – by refractometric method according to DSTU ISO 2173:2007; mass fraction of titrated acids (in terms of malic acid) – according to DSTU 4957:2008; content of ascorbic acid – according to B. P. Pleshkov; protein content was determined by the Kjeldahl method; pectin substances were determined by the titrimetric method; ash was determined according to DSTU 4913:2008 "Fruits, vegetables and processed products. Methods of determining mineral impurities"; fiber – according to Henneberg and Shtomann according to DSTU ISO 5498:2004 "Food and agricultural products. General method for the determination of crude fiber content" (ISO 5498:1981, IDT); carotene – by spectrometric method according to DSTU ISO 6558-2:2004 "Fruits, vegetables and processed products. Determination of carotene content". Part 2. Standard methods (ISO 6558-2:1992, IDT).*

Results. *The technology of a functional vegetable semi-finished product based on pumpkin, quince and sea buckthorn puree has been developed. The use of semi-finished products will simplify the technological process of preparing sweet dishes and drinks, as well as improve the nutritional*

and biological value. The developed semi-finished product has a high nutritional value and is a source of functional ingredients: pectin substances, carotenoids, flavonoids, fiber, minerals.

Key words: *functional mashed semi-finished product, desserts, drinks, nutritional value.*

Formulation of the problem. Humanity is faced with an ever-increasing increase in the consumption of sweets, which undoubtedly affects the overall the state of people's health, including the state of the cardiovascular, digestive, and hormonal systems of the body. Excessive sugar consumption leads to an increase in the number of bacteria in the oral cavity, which, in turn, causes caries and thinning of tooth enamel. The use of vegetable purees in food production has great practical benefits, as it will help make a traditional dessert not only tasty, but also healthy, enriching the product with fiber, pectin, vitamins, enzymes, mineral salts, antioxidants. Vegetable purees have a high content of vitamins C and P, which is the basis for their use to fortify finished products. This technology can also be useful from an economic point of view, since its use entails a reduction in the use of egg-containing mixtures, sugars, food colors and flavors [1].

The source of natural biologically active substances are purees, juices, extracts, decoctions of fruits, vegetables, cultivated and wild berries, medicinal herbs, etc. Therefore, an urgent issue for this type of product is the improvement of the recipe of the existing assortment of sweet dishes due to the use of natural plant components of high biological value.

According to the type of raw material, plant additives can be divided into vegetable, fruit (fruit and berry) and grain, and according to the type of processing, plant additives are in the form of purees, pastes, jams, juices, extracts, wort, syrups, decoctions, infusions, powders, grits, flour, meal, pomace, in some cases – in its natural form [2].

Sweet dishes and desserts are in great demand among consumers. However, these products, as a rule, have an unbalanced chemical composition, high calorie content, high content of fats and carbohydrates, relatively low protein content and insufficient amount of biologically active substances.

Comprehensive studies of some herbal additives have shown that their introduction increases the foaming and emulsifying ability of milk and egg proteins and improves the quality of finished products from them both in terms of organoleptic and physicochemical indicators. Explaining the positive effect of the introduction of berry purees, scientists assume the possibility of interaction of pectin substances contained in the puree with amino acids of proteins, and the formation of protein-carbohydrate complexes, which, due to surface-active properties, increase the foam-forming ability and stability of the foam. The negative effect with large dosages of berry puree is explained by further dilution of the protein-sugar mixture [3].

In the aspect of solving this problem, research in the field of developing new technologies for drinks and sweet dishes using non-traditional plant raw materials, which contribute to the stabilization of vision and the prevention of its diseases, are timely and relevant. Pumpkin, quince and sea buckthorn are a source of valuable components that are recommended for the prevention of eye diseases (carotenoids, pectin substances, phenolic compounds, macro- and microelements, etc.), but are almost not used in restaurants, which indicates the need to create semi-finished products based on them, which will allow to significantly simplify the technological process and rationally use valuable natural plant resources.

Analysis of recent research and publications. In summer and autumn, almost all fruits are available and relatively cheap, and in order to preserve these products for the cold season, it is enough to process them into berry and fruit semi-finished products. Subsequently, they will become an excellent raw material for the production of marshmallows, marmalade, jam, ice cream, jelly, pie fillings and many other products. Semi-finished products are made from cultivated and wild fruits and berries: pears, apples, raspberries, dogwoods, blackberries, lingonberries, oranges, lemons, etc. Only ripe fruits that are not damaged by pests or agricultural diseases are used for production. As a rule, semi-finished products are created from a single type of product [4].

Possibility to reduce storage and transportation costs, to smooth out the seasonality of canning production and the growing demand for purees, reconstituted juices with pulp, nectars, sauces and food fillers, contribute to the spread of concentrated semi-finished products throughout the world. On

the quality indicators of concentrated purees semi-finished products are affected, first of all, by the viscosity of the fruit masses, a sharp increase in which during concentration slows down the process of moisture removal, complicates the operation of vacuum evaporators, and contributes to the deterioration of the organoleptic characteristics of the finished product.

Viscous-plastic properties of pureed fruit masses determined by the content of pectin substances, their condition (protopectin, soluble pectin, intercellular substance pectin). Highly methoxylated pectin substances act as thickeners, low methoxylated ones act as electrolytes and, under certain conditions, can be separated from the liquid phase of the colloidal system. Cell wall protopectin does not have thickening properties and does not affect the viscosity of the puree-like fruit mass. Thus, with the same content of pectin substances in the raw material, the viscosity of the fruit mass depends on the ratio of the forms of pectin substances in it [5].

In recent years, vegetable semi-finished products and concentrates of various composition and functional purpose have become increasingly common in the production of culinary products, in particular, whipped sweet dishes. They make it possible to increase the biological value and reduce the cost of production by reducing energy consumption and reducing the number and duration of technological operations [6], have longer storage terms compared to fresh vegetables, fruits and berries [7].

The analysis of literary sources [8] shows that the range of semi-finished products for the production of whipped sweet dishes and products is quite narrow, but the growing market needs and supply of such semi-finished products are quite large, so it is advisable to study them in more detail and develop new technologies [9]. On the basis of in-depth research, the authors [10, 11] gave a scientific justification for the possibility of using pumpkin, carrot, sea buckthorn puree for the preparation of jellies, mousses, sambukas, jelly according to traditional technologies [12], which contain low-esterified pectins [13], which differ in pronounced protective properties [14].

Thus, vegetable, fruit and berry purees are valuable raw materials for the production of sweet whipped dishes and drinks for schoolchildren, therefore the work on the creation of new resource-saving technologies for the processing of vegetable raw materials is relevant and promising.

Objective of the article is the scientific substantiation and practical development of the technology of a functional semi-finished product for sweet dishes and drinks based on pumpkin, quince and sea buckthorn puree.

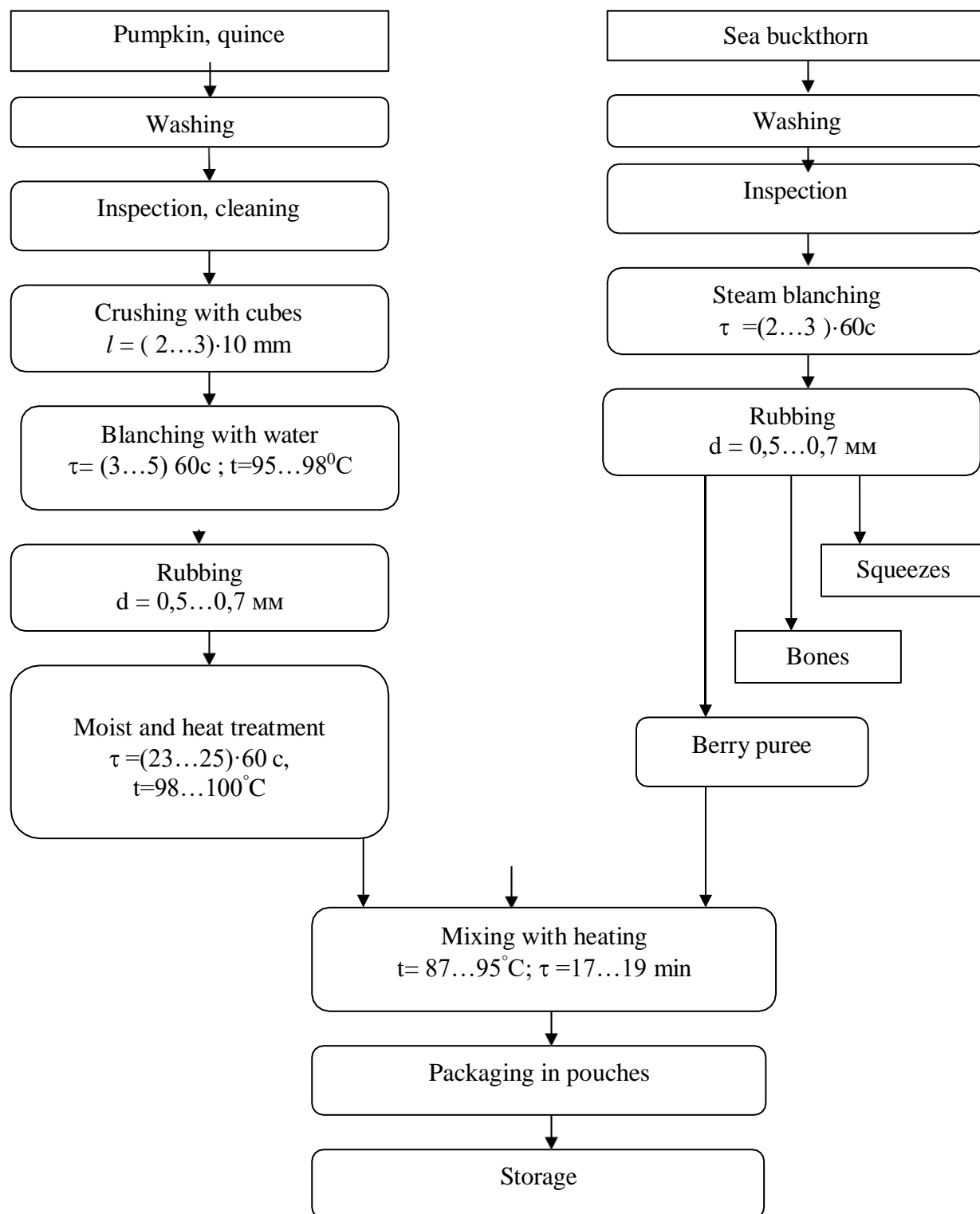
Presentation of the main study material. In recent years, more and more attention has been paid to the problem of finding fundamentally new additives during the preparation of dishes with a foam structure, which would allow saving traditional foam and structure formers and at the same time improve the nutritional and biological value of the final products [15, 16]. We have developed a semi-finished product (puree) based on pumpkin and quince with sea buckthorn, the raw material consumption standards for its production are given in the table. 1.

Table 1 – Raw material consumption standards for the production of 100 kg of semi-product

The name of the raw material	Estimated bookmark rates raw materials, kg	Losses and waste, %		Consumption norms of raw materials per 100 kg of finished products, kg
		during primary processing, blanching, wiped	when mixing, packaging	
Pumpkin	105	25	5	73,5
Quince	130	25	5	91,0
Sea buckthorn	6	30	5	3,9
Sugar	10	-	-	10
Product output	257	–	–	184,4

An analysis of methods for concentrating puree-like fruit masses showed that the maximum degree of concentration of the mass is limited by its viscosity and the presence of pulp particles. The use of a relatively new method of concentration with fractionation of finely pureed fruit mass is

promising, but requires additional research and the search for opportunities to reduce the viscosity of the mass without negative consequences for the quality of products made from this semi-finished product.



The technological diagram of the semi-finished product is shown in fig. 1.

Figure 1 – Technological scheme of puree-like semi- product

During the thermal action in the process of culinary processing or industrial processing, changes in the chemical composition occur, associated with a change in the spatial orientation of

cellular structures, inactivation of enzymes, processes of oxidation of the pigment complex, partial destruction of some vitamins, etc.

Table 2 shows data on the nutritional value of the semi-finished product.

Table 2 – Chemical composition of puree-like semi-product

Name indicator		Units of meas.	Pumpkin puree (control)	Puree-like semi-product
Water		%	76,2±1,15	75,6±1,15
Protein		-//-	0,32±0,01	0,35±0,01
Lipids		-//-	0,2±0,02	0,1±0,02
Carbo-hydrates	general	-//-	21,31±0,04	21,17±0,04
	mono- and disaccharides	-//-	16,3±0,4	19,2±0,4
Cellulose		-//-	0,6±0,01	0,5±0,01
Pectin		-//-	1,04±0,03	1,28±0,03
Organic acids		-//-	0,63±0,03	0,94 ±0,03
Ash		-//-	0,30±0,01	0,40±0,02
β- carotene		mg/100 g	197,2±0,2	241,8±0,1
Ascorbic acid		mg/100 g	11,70±0,02	25,90±0,02
Energy value		kkal/100 g	94,9	90,7

The analysis of the data presented in Table 2 shows that the quince-pumpkin semi-finished product with sea buckthorn has a high nutritional value, which is largely determined by its mineral and vitamin composition. The results of the experiments showed that the use of sea buckthorn puree in the production technology of a semi-finished product based on pumpkin and quince gives it a certain color, that is, the puree can be considered as a source of natural dyes of phenolic origin. It is also advisable to use sea buckthorn as a raw material with a stable color effect for obtaining mashed potatoes with an increased content of biologically active substances. Generalized experimental data on the technological properties and nutritional value of the semi-finished product made it possible to develop the technologies of desserts, smoothies and drinks with the aim of their implementation in the practice of restaurant enterprises.

Thus, the conducted studies testify to the high quality of the developed semi-finished product, which makes it possible to recommend it for use in the production of a wide range of sweet dishes and drinks that are very popular among schoolchildren, which will allow to significantly enrich diets with biologically valuable functional ingredients. The introduction into the food industry of food products using plant raw materials that have functional properties is a very promising direction of the development of modern technology due to the variety, cheapness, widespread distribution of plant raw materials, as well as the peculiarities of its chemical composition and technological properties.

Conclusions. Thus, the developed semi-finished product, which is a source of carotenoids, pectin, fiber, and minerals, is recommended for the production of functional products (sweet dishes and drinks). In the future, it is planned to determine the rheological characteristics of the developed semi-finished product and prove its functional properties (physiological action).

References

1. Ushchapovskiy, A.; Ivchuk, N. (2020). Use of semi-finished cherry-beet puree in technology of sweet dishes and desserts. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (3 (53)), 42–44. <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.205176>.
2. Mark-Herbert, C. (2002). Functional food for added value. Developing and marketing a new product category: Doctoral dissertation. URL: https://www.researchgate.net/publication/31732394_Functional_Foods_for_Added_Value_Developing_and_Marketing_a_New_Product_Category_C_Mark-Herbert.
3. Bondar M. (2020). Regulations on functional products in different countries. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, (51-1), 16-23. <https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-51-1-16-23>.
4. Zhakova, K.; Mironova, N. (2017). New development of functional products, *Science and innovation*, 171, 21-23.
5. Zahorulko, Andrii; Zagorulko, Aleksey; Mikhaylov, V.; Rudaska, N.; Dmytrevskiy, D.; Ibaiev, E.; Tytarenko, N. (2023). Improved method of brewing peanut mouth with blending fruit drink of a high degree of readiness, *EUREKA: Life Sciences*, 33-39. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2023.002784>.
6. Pap, Nora; Fidelis, Marina; Azevedo, Luciana; Wang, Dongxu; Mocan, Andrei; Pereira, Eliene; Xavier-Santos, Douglas; Sant'Ana, Anderson; Yang, Baoru; Granato, Daniel. (2021). Berry polyphenols and human health: evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects, *Current Opinion in Food Science*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.
7. Bilenka, I.; Lazarenko, N.; Zolovska, O.; Dzyuba, N. (2019). Complex processing of jerusalem artichoke into functional products. *Food Science and Technology*, 13. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1559>.
8. Zahorulko, And.; Zagorulko, Al.; Kasabova, K.; Gordienko, I. (2021). Creation of multi-component fruit and vegetable semi-finished products and confectionery on their basis with health properties. *BIO Web Conf.*, 30, 01024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213001024>.
9. Bucher, Tamara; Van der Horst, Klazine; Siegrist, Michael. (2012). Fruit for dessert. How people compose healthier meals, *Appetite*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.10.003>.
10. Rudaska, N.; Cherevko, O.; Pugach, A.; Ponomarenko, N.; Tesliuk, H.; Zakharchenko, R.; Postadzhiev, A.; Tytarenko, N. (2023). Improvement of the Manufacturing Method of Multi-Component Paste-Like Vegetable Semi-Finished Products with a High Degree of Readiness, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (11(121)), 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273673>.
11. Balestra, F.; Cocci, E.; Marsilio, G.; Dalla Rosa, M. (2011). Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage, *Procedia Food Science*, 1, 576-582. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.087>.
12. Nindo, C. I.; Tang, J.; Powers, J. R.; Takhar, P. S. (2007). Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *LWT – Food Science and Technology*, 40, 292-299.
13. Jimenez, D.; Miraballes, M.; Gámbaro, A.; Lobo, M.; Samman, N. (2020). Baby purees elaborated with andean crops. Influence of germination and oils in physico-chemical and sensory characteristics, *LWT*, 124, 108901, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108901>.
14. Wani, Shefali; Bakshi, Rayees Ahmad; Khan, Zakir S.; Fayaz, Shemilah, Khalid Muzaffar, B. N. Dar. (2021). Physicochemical, sensorial and rheological characteristics of puree developed from Kashmiri peaches: influence of sugar, KMS and storage conditions, *Heliyon*, 7 (8), e07781. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07781>.
15. Colin-Henrion, Muriel; Cuvelier, G.; Renard, Catherine. (2007). Texture of pureed fruit and vegetable foods, *Stewart Postharvest Review*, 3, 1-14. <https://doi.org/10.2212/spr.2007.5.3>.
16. Mateescu, A.M.; Mureşan, A.E.; Puşcaş, A.; Mureşan, V.; Sestras, R.E.; Muste, S. (2022). Baby Food Purees Obtained from Ten Different Apple Cultivars and Vegetable Mixtures: Product Development and Quality Control. *Applied Sciences*, 12, 12462. <https://doi.org/10.3390/app122312462>.

Список літератури

1. Ushchapovskiy A., Ivchuk N. Use of semi-finished cherry-beet puree in technology of sweet dishes and desserts. *Technology Audit and Production Reserves*. 2020. №3 (3 (53)). P. 42–44. <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.205176>.
2. Mark-Herbert C. (2002). Functional food for added value. Developing and marketing a new product category: Doctoral dissertation. URL: https://www.researchgate.net/publication/31732394_Functional_Foods_for_Added_Value_Developing_and_Marketing_a_New_Product_Category_C_Mark-Herbert.
3. Bondar M. Regulations on functional products in different countries. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2020. №51-1.
4. Zhakova K., Mironova N. New development of functional products. *Science and innovation*. 2017. №171. P. 21-23.
5. Zahorulko And., Zagorulko Al., Mikhaylov V., Rudska N., Dmytrevskiy D., Ibaiev E., Tytarenko N. (2023). Improved method of brewing peanut mouth with blending fruit drink of a high degree of readiness. *EUREKA: Life Sciences*. 2023. P. 33-39. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2023.002784>.
6. Pap Nora, Fidelis Marina, Azevedo Luciana, Wang Dongxu, Mocan Andrei, Pereira Eliene, Xavier-Santos Douglas, Sant'Ana Anderson, Yang Baoru, Granato Daniel. Berry polyphenols and human health: evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. *Current Opinion in Food Science*. 2021. №42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.
7. Bilenka I., Lazarenko N., Zolovska O., Dzyuba N. Complex processing of jerusalem artichoke into functional products. *Food Science and Technology*. 2019. №13. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1559>.
8. Zahorulko And., Zagorulko Al., Kasobova K., Gordienko I. Creation of multi-component fruit and vegetable semi-finished products and confectionery on their basis with health properties. *BIO Web Conf*. 2021. №30. 01024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213001024>.
9. Bucher T., Van der Horst Klazine, Siegrist M. Fruit for dessert. How people compose healthier meals. *Appetite*. 2012. №60. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.10.003>.
10. Rudska N., Cherevko O., Pugach A., Ponomarenko N., Tesliuk H., Zakharchenko R., Postadzhiev A., Tytarenko N. Improvement of the Manufacturing Method of Multi-Component Paste-Like Vegetable Semi-Finished Products with a High Degree of Readiness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. №1 (11(121)). P. 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273673>.
11. Balestra F., Cocci E., Marsilio G., Dalla Rosa M. Physico-chemical and rheological changes of fruit purees during storage. *Procedia Food Science*. 2011. №1. P. 576-582. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.087>.
12. Nindo C. I., Tang J., Powers J. R., Takhar P. S. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *LWT – Food Science and Technology*. 2007. №40. P. 292-299.
13. Jimenez D., Miraballes M., Gámbaro A., Lobo M., Samman N. Baby purees elaborated with andean crops. Influence of germination and oils in physico-chemical and sensory characteristics. *LWT*. 2020. №124. 108901, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108901>.
14. Shefali Wani, Rayees Ahmad Bakshi, Zakir S. Khan, Shemilah Fayaz, Khalid Muzaffar, B.N. Dar. Physiochemical, sensorial and rheological characteristics of puree developed from Kashmiri peaches: influence of sugar, KMS and storage conditions. *Heliyon*. 2021. Vol. 7. Is. 8. e07781. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07781>.
15. Colin-Henrion Muriel, Cuvelier G., Renard Catherine. Texture of pureed fruit and vegetable foods. *Stewart Postharvest Review*. 2007. №3. P. 1-14. <https://doi.org/10.2212/spr.2007.5.3>.
16. Mateescu A.M., Mureşan A.E., Puşcaş A., Mureşan V., Sestras RE, Muste S. Baby Food Purees Obtained from Ten Different Apple Cultivars and Vegetable Mixtures: Product Development and Quality Control. *Applied Sciences*. 2022. №12 (23). P. 12462. <https://doi.org/10.3390/app122312462>.

Мета. Метою статті є наукове обґрунтування та практична розробка технології функціонального напівфабрикату для солодких страв і напоїв на основі пюре з гарбуза, айви та обліпихи.

Методи. Вибір проб проводився відповідно до ДСТУ ISO 874-2002, приготування проб до лабораторних аналізів – відповідно до ДСТУ 7040:2009. Фізико-хімічні показники визначали відповідно до ДСТУ 8639:2016 «Пюре-напівфабрикати фруктові. Загальні технічні умови», а також: вміст сухих речовин у сировині – за ДСТУ ISO 751-2004; масову частку розчинних сухих речовин – рефрактометричним методом за ДСТУ ISO 2173:2007; масову частку титрованих кислот (у перерахунку на яблучну кислоту) – за ДСТУ 4957:2008; вміст аскорбінової кислоти – за Плешковим Б. П.; вміст білка визначали методом К'ельдаля; пектинові речовини визначали титриметричним методом; золу визначали згідно з ДСТУ 4913:2008 «Фрукти, овочі та продукти перероблення. Методи визначення мінеральних домішок»; клітковину – за Геннебергом і Штоманном за ДСТУ ISO 5498:2004 «Продукти харчові сільськогосподарські. Загальний метод визначення вмісту сирової клітковини» (ISO 5498:1981, IDT); каротин – спектрометричним методом за ДСТУ ISO 6558-2:2004 «Фрукти, овочі та продукти перероблення. Визначення вмісту каротину». Частина 2. Стандартні методи (ISO 6558-2:1992, IDT).

Результати. Розроблено технологію функціонального рослинного напівфабрикату на основі пюре гарбуза, айви та обліпихи. Використання напівфабрикату дозволить спрощувати технологічний процес приготування солодких страв і напоїв, а також поліпшувати харчову та біологічну цінність. Розроблений напівфабрикат відрізняється високою харчовою цінністю та є джерелом функціональних інгредієнтів: пектинових речовин, каротиноїдів, флавоноїдів, клітковини, мінеральних речовин.

Ключові слова: функціональний пюреподібний напівфабрикат, десерти, напої, харчова цінність.

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

DOI : 10.33274/2079-4827-2023-47-2-27-39
УДК 664.66:633/635

Ланська В. Д., аспірант
Федорова Д. В., д-р техн. наук, професор

State University of Trade and Economics (Kyiv, Ukraine), e-mail: Vita.kozar70@gmail.com

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТАРТОВОЇ ЗАКВАСКИ ЛВ-1 В ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО РИСОВОГО ХЛІБА

UDC 664.66:633/635

Lanska V. D., postgraduate
Fedorova D. V., Grand PhD of Engineering Science,
Professor

State University of Trade and Economics (Kyiv, Ukraine), e-mail: Vita.kozar70@gmail.com

FEASIBILITY OF USING LV-1 STARTER LEAST IN THE GLUTEN-FREE RICE BREAD TECHNOLOGY

Мета – обґрунтування доцільності використання стартової закваски ЛВ-1 Livendo™ в технології безглютенового рисового хліба.

Методи. В роботі використано загальноприйняті стандартні методи досліджень, які забезпечили виконання поставленого завдання. Дослідження виконано на базі виробничої лабораторії підприємства «Zeelandia», м. Бровари (ДП «Zeelandia Group», Нідерланди). Питомий об'єм хліба ($\text{см}^3/\text{г}$) визначали шляхом ділення величини об'єму хліба на його масу і виражали з точністю до $0,01 \text{ см}^3/\text{г}$. Об'єм хліба у см^3 вимірювали за допомогою пристрою РЗ-БІО, який працює за принципом вимірювання об'єму синопного наповнювача, витиснутого хлібом. Вологість м'якушки хліба (%) визначали експрес-методом на приладі ВЧ при 160°C протягом 5 хв (за ДСТУ 7045:2009 «Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників»). Визначення кислотності м'якушки хліба проводилось арбітражним методом (титруванням гідроксидом натрію) за ДСТУ 7045:2009. М'якість та черствіння хліба визначали за допомогою аналізатора текстури (текстурометра) TA.Xtplus.

Результати. Обґрунтовано доцільність використання стартової закваски ЛВ1 Livendo™ в технології безглютенового рисового хліба. Доведено, що найбільш перспективною основою для приготування закваски для безглютенового хліба на основі стартеру ЛВ1 є рисове борошно. Використання рисової закваски на основі стартеру ЛВ1 в технології безглютенового рисового хліба у кількості від 30% до маси борошна є доцільним, оскільки дає можливість отримувати вироби із золотистою скоринкою, рівномірною пористістю, помірно вологою м'якушкою, вираженими приємними смаком і ароматом. Встановлено, що додавання рисової закваски зумовлює підвищення кислотності рисового тіста на 2-3 град. Крім того, додавання рисової закваски у кількості 40% позитивно впливає на підйомну силу і зменшує на 15-20 хв. тривалість вистоювання тістових заготовок. Додавання 30-40% закваски дозволяє сповільнювати черствіння хліба при зберіганні, проте, така кількість закваски зменшує м'якість хліба. Перспективою подальших досліджень є робота над усуненням цієї проблеми за рахунок використання певних технологічних прийомів та додаткових інгредієнтів.

Ключові слова: безглютеновий рисовий хліб, рисова закваска, стартер ЛВ-1, показники якості.

Постановка проблеми. Целиакія (глютенінова ентеропатія) – це імуні-опосередковане захворювання, що викликається у генетично схильних дітей та дорослих пептидними послідовностями фракцій проламіну споживаної пшениці (гліадин), ячменю (гордеїн), жита (секалін) або вівса (авенін) [1]. Нині поширеність целиакії становить близько 1% населення у західному світі, і медична дієтотерапія є єдиним загальноприйнятим методом лікування целиакії. Безглютенінова дієта (БГД) потребує постійного навчання пацієнтів та членів їхніх сімей як лікарями, так і дієтологами. Дотримуватися суворої БГД непросто, оскільки (а) шкідливий глютен може забруднювати харчові продукти на етапах обробки; (б) БГД соціально обмежує, має істотний негативний вплив на сприймання якості життя і може викликати значний психологічний, емоційний та економічний стрес; (в) продукти без глютену, як правило, не широко доступні, вони дорожчі і мають нижчі смакові якості, ніж звичайні продукти і (г) жорстка БГД призвести до дефіциту вітамінів групи В, кальцію, вітаміну D, заліза, цинку, магнію та клітковини [2-4].

Таблиця 1 – Дефекти якості безглютенінового хліба та можливі покращення за рахунок ферментації закваски (адаптовано з Gobbetti et al., 2008, 2014; Gänzle, 2014 [5-7]).

Безглютеніновий хліб: проблеми	Закваска в БГ-хлібі: позитивні ефекти
Суха розсіпчаста текстура	Пориста текстура, волога консистенція м'якушки
Малий об'єм хліба	Збільшення об'єму хліба Покращена газоутримувальна здатність
Неприємні сенсорні відчуття	Поліпшення смакових якостей
Прісний невиражений смак	Аромат традиційного хліба
Короткий термін зберігання	Зменшується черствіння хліба Антицвілева та протигрибкова активність
Низька харчова цінність	Покращена біодоступність мінеральних речовин Зниження глікемічного індексу Пребіотичні екзополісахариди
Висока вартість інгредієнтів	Зменшення потреби в коштовних інгредієнтах (гідроколоїдах, ферментах, хімічних консервантах)

Таким чином, виробництво високоякісних безглютенінових продуктів стало надзвичайно важливою соціально-економічною проблемою. На сьогоднішній день заміна глютену в хлібі є серйозним технологічним завданням для вчених, які займаються зерновими культурами, через низькі хлібопекарські властивості безглютенінових продуктів. Зростає попит споживачів на високоякісний безглютеніновий хліб, екологічно чисту (зелену) етикетку та натуральні продукти [8].

За останні десятиліття було досліджено кілька підходів до розробки безглютенінових продуктів (БГП) (і, зокрема, безглютенінових хлібобулочних виробів, БГХВ), таких як використання (а) різних видів безглютенінового борошна (рисового, сорго, вівсяного, гречаного, амарантового, кіноа, тефф, кукурудзяного) [10], (б) харчових добавок і інгредієнтів (крохмалі, молочні продукти, ячні білки, харчові волокна, камеді та гідроколоїди) [11] та (в) альтернативних технологій, таких як ферментативна обробка та обробка високим гідростатичним тиском [12]. Незважаючи на отримані на даний момент привабливі результати, включення цих інгредієнтів/добавок до рецептури БГХВ має ряд недоліків, таких як (а) надмірна ціна використовуваних інгредієнтів/добавок [6] та (б) алергічні реакції на деякі з них (лактоза, білки) [4, 9]. Більше того, наявність у складі харчових добавок не відповідає вимогам багатьох споживачів до натуральності продуктів. Таким чином, навіть якщо за останні роки було досягнуто поліпшення якості БГП, зростаючий попит на високоякісну безглютенінову продукцію і особливо безглютеніновий хліб далеко не повністю задоволений. У цій галузі все ще потрібні великі дослідження.

Впровадження методів закваски – важливий напрямок у виробництві хліба, що спостерігається протягом останніх 20 років, в основному, через попит споживачів на хліб високої якості, без хімічних добавок та глютену [12, 14]. Основні переваги застосування закваски можна резюмувати як (а) нижчі темпи псування хліба (уповільнення черствіння), (б) більш висока стійкість до плісняви та мікробіального псування, (в) задоволення вимог споживачів щодо більш безпечних продуктів та продуктів зі зниженим вмістом хімічних консервантів, (г) покращені поживні властивості, (д) нижчий глікемічний індекс хліба та зниження засвоюваності крохмалю та (е) покращений смак та текстура, більш привабливі органолептичні властивості, порівняні з традиційним дріжджовим хлібом [10-14].

Правильно обрана стартова культура для приготування закваски покращує термін зберігання та смак хлібобулочних виробів [13,16], але також може змінювати реологічні властивості тіста за рахунок продукції екзополісахаридів [15]. Закваску також можна використовувати у рецептурах із чистою етикеткою.

Зростаюча популярність споживання корисного для здоров'я хліба на заквасці проковує розвиток ринку заквасок. Однак у більшості країн світу закваски не поширені і не продаються широко, наприклад, у європейських країнах переважно виробляють ремісничий хліб на спонтанних заквасках. Проте, дика мікрофлора сильно залежить від складу борошна (вуглеводи, білки, мінерали, ліпіди та активність ферментів) та різних параметрів процесу, таких як температура, час ферментації та кількість етапів розмноження закваски. Все це робить виробництво закваски складною процедурою, яка потребує ретельного контролю. Традиційна технологія хліба на заквасці, виробленій методом мимовільного (спонтанного, чи дикого) бродіння, є дорогою, нестабільною і трудомісткою. Надалі розширення споживчого попиту на ферментований хліб на заквасці змістило світовий ринок до промислової стандартизації, наприклад, до використання певних «чистих» заквасок (стартерів), які переважатимуть у типових продуктах [14, 16, 33]. Сьогодні харчова промисловість, схоже, надає перевагу певним стартовим культурам, щоб стабілізувати та полегшити процес виробництва. Отже, використання закваски-стартера для виробництва БГХВ є актуальним та перспективним напрямом у технологіях безглютенового хліба (БГХ), що потребує нових досліджень та технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Мікробна ферментація – один із найстаріших і найбільш економічно та екологічно чистих методів виробництва та консервування харчових продуктів. Мікробна ферментація виконує кілька функцій при переробці харчових продуктів, таких як (а) збагачення раціону за рахунок розвитку різноманітності смаку, аромату та текстури харчових субстратів, (б) збереження значної кількості їжі за рахунок молочнокислого та спиртового бродіння, (с) біологічне збагачення харчових субстратів сполуками, які виникають або внаслідок реакцій біотрансформації (білок, незамінні амінокислоти, незамінні жирні кислоти) або біосинтезу (вітаміни), та (d) детоксикації під час ферментації харчових продуктів [6, 17, 19]. Ці ферментативні дії використовувалися від початку людської цивілізації при виробництві ферментованих продуктів харчування та напоїв, які визначаються як продукти, що підпорядковуються впливу мікроорганізмів або ферментів, викликаючи бажані біохімічні зміни [13, 18].

Останній підхід, який був досліджений для поліпшення якості БГХ – це використання технології закваски, яка є одним із найстаріших біотехнологічних процесів у виробництві зернових продуктів харчування. Закваска – це суміш борошна та води, зброжена культурами молочнокислих бактерій (МКБ) та дріжджів, які або додаються навмисно, або є забруднювачами борошна [20]. Добре відомо, що бродіння на заквасці покращує властивості тіста: покращує об'єм, текстуру, смак і харчову цінність хліба [21, 22], уповільнює процес черствіння [23] та захищає хліб від плісняви та бактеріального псування [24].

Правильний вибір закваски має вирішальне значення. У виробництві закваски використовуються багато мікроорганізмів, більшість з яких належать до молочнокислих бактерій (МКБ). МКБ мають позитивний вплив на текстуру, смак, поживні властивості, хімічні

та мікробіологічні параметри зберігання завдяки різним метаболітам, що входять до складу тіста, таким як ферменти, органічні кислоти, екзополісахариди і навіть антимікробні сполуки [19, 26]. Всі ці метаболіти надають багато переваг у хлібі. Протеолітичні системи МКБ (протеїназна та пептидазна активність) можуть підвищувати концентрацію вільних амінокислот під час ферментації закваски, а також сприяти поліпшенню аромату, оскільки багато вільних амінокислот вважаються попередниками деяких летких сполук [25, 26]. Крім того, дія фітаз, викликана МКБ, посилює деградацію фітинової кислоти і, отже, збільшують біодоступність мінеральних речовин, амінокислот та білків закваски [27]. Екзополісахариди сприяють в'язкопружним властивостям тіста, що призводить до збільшення об'єму буханця та стійкості м'якушки [28]. Посилена продукція різних органічних кислот, таких як молочна та оцтова, сприяє збільшенню терміну придатності та гігієнічної безпеки хліба [29].

Чітка структура мікробіологічних взаємодій, що відбуваються під час ферментації закваски, необхідна для контролю ферментації і підтримки стабільних параметрів якості закваски в безглютенівому тісті. Літературний пошук показує, що для зростання закваскової культури в безглютенівому тесті першорядний інтерес представляє цукровий склад безглютенівого борошна. Наприклад, дефіцит мальтози на початку ферментації у сорговій заквасці може призвести до неможливості зростання стартового штаму *Lactobacillus sanfranciscensis* [30]. Аналогічним чином, високий рівень глюкози в заквасці з сорго сприяє зростанню та метаболічній активності видів *Weissella* [31]. Деградація білка під час ферментації закваски є ключовим явищем, яке впливає на загальну якість хліба на заквасці, викликаючи утворення попередників смакових сполук та змінюючи в'язкопружні властивості тіста [29, 31, 33]. Як відправна точка, здатність заквасок домінувати в процесі ферментації та інгібувати зростання домішок повинна розглядатися як неодмінна умова для успішної розробки безглютенівих продуктів на заквасці [14].

Moroni та ін. (2009) [24] показали, що під час ферментації рисової закваски виникають субстрат-специфічні МКБ та види дріжджів, які відрізняються від загальної мікробіоти пшеничних та житніх заквасок.

Gänzle та ін. (2019) [18] досліджували адаптованість великої різноманітності МКБ і дріжджів в заквасках, приготованих на основі глютенвмісних злаків (пшениця, жито і ячмінь), безглютенівих зернових культур (вівсянка, рис, кукурудза, просо), псевдозерен (амаранту, гречки), а також маніюки. Вони виявили, що навіть якщо кожен субстрат був створений з використанням однієї і тієї ж стартової суміші та ферментований в однакових технологічних умовах, конкурентоспроможність деяких штамів була субстратно-специфічною. Отже, серед інших факторів, тип використовуваного безглютенівого борошна визначає мікробіоту отриманої закваски. Ці дані показують, що екзогенні закваски не підходять для ферментації безглютенівої сировини, і для такої ферментації необхідно розробити спеціальні закваски [13, 17, 20]. З іншого боку, екологічні дослідження безглютенівих заквасок, отриманих або за допомогою стартерів, або шляхом спонтанної ферментації, показують, що БГ-борошно містить нові та конкурентоспроможні штами молочнокислих бактерій та дріжджів, які зазвичай не виділяються у традиційних заквасках і які можуть бути відповідними кандидатами для розробки заквасок. Інші подібні дослідження також показали важливість природи безглютенівого субстрату на вибір корисних стартових культур [27, 29, 32].

Таким чином, можна прогнозувати, що робота в напрямку розробки технологій БГП на заквасках-стартерах має певні позитивні теоретичні підґрунтя та практичні перспективи. Проте, в роботі слід враховувати, що стартер має бути сертифікований в Україні та потребує експериментальних досліджень стосовно технологічної доцільності та поєднуваності наявних у стартері МКБ із різними видами безглютенівого борошна.

Мета статті – обґрунтування доцільності використання стартової закваски LB1 Livendo™ в технології безглютенівого рисового хліба.

Виклад основного матеріалу дослідження. При розробці технології рисового БГХ у дослідженнях використано стартову культуру LB1 Livendo™ французької компанії «Lesaffre»

[34], яка містить молочнокислі бактерії і дріжджі для приготування заквасок на аглютенівому борошні, яка сертифікована в Україні та дозволяє створити безглютеновий хліб на заквасці. Як запевняє виробник, закваска забезпечує накопичення кислотності, смакових та ароматичних речовин, розпушення аглютенівого тіста. Рекомендоване виробником дозування до маси борошна (пшеничного сортових помелів або цільозернового, житнього) в заквасці складає 0,3-0,6% до маси борошна. Даних про використання даного стартера у технологіях безглютенового хліба в Україні не знайдено, тому цей напрямок потребує подальшого розвитку, як науково-теоретичних експериментальних досліджень, так і практичних технологічних проробок.

На першому етапі досліджували вплив стартеру ЛВ1 на приготування заквасок на основі найбільш популярних видів безглютенового борошна (гречаного, кукурудзяного, рисового ТМ «Каскад» – єдиної в Україні торгівельної марки, яка випускає безглютенову продукцію зі знаком «Перекреслений колосок») та порівнювали із контрольним зразком закваски на основі пшеничного борошна.

Для найкращого результату рекомендовано змішати стартову культуру з водою температурою 35-38°C та перемішати протягом 1-2 хв. до утворення однорідної суспензії. В діжку планетарного міксера (або тістомесильної машини) необхідно внести всі компоненти для приготування закваски: аглютеніве борошно (рисове, або гречане, або кукурудзяне ТМ «Каскад») та суспензію стартової культури у воді та решту води температурою 35°C-38°C; замісити на 1 швидкості протягом 3-5 хв. Тривалість бродіння аглютенівої закваски 1-го ступеня – 24 години при температурі 26-28°C (в термостаті 18 годин при температурі +32°C). По закінченню процесу бродіння відбирається 50% від маси стиглої закваски, а решта закваски використовується для отримання закваски 2-го ступеня методом годування (1:1 води та аглютенівого борошна). Дані досліджень фізико-хімічних, біотехнологічних та мікробіологічних показників якості заквасок після циклу розведення наведено у табл. 1.

Таблиця 2 – Фізико-хімічні, біотехнологічні та мікробіологічні показники якості заквасок після циклу розведення

Показники	Закваска			
	Пшенична (контроль)	Гречана	Кукурудзяна	Рисова
Фізико-хімічні				
Масова частка вологи, W,%	54,6	80,0	51,0	55,0
Кислотність, К, град	14,6	14,8	8,0	7,0
Активність МКБ, хв	65	60	98	80
Мікробіологічні				
Кількість молочнокислих бактерій, КУО/г	$2,7 \times 10^9$	$3,1 \times 10^9$	$2,8 \times 10^8$	$3,0 \times 10^7$
Кількість дріжджів, КУО/г	$1,6 \times 10^9$	$1,5 \times 10^9$	$6,0 \times 10^8$	$6,3 \times 10^7$

Аналіз даних табл. 1 свідчить, що рисове борошно має найкращі перспективи як основа для приготування закваски для БГХ на основі стартеру ЛВ1.



Рисунок 1 – Зразки хліба рисового без закваски та з концентрацією закваски 20, 30 та 40%

Органолептичні показники рисового хліба на рисовій заквасці відрізняються від контрольного зразка. Скоринка рисового хліба на заквасці 30% та 40% мала світло-коричневе забарвлення, м'якушка мала рівномірну дрібну пористість та добру пропеченість, виражений хлібний смак і аромат. Контрольний рисовий хліб без закваски мав слабкий аромат і прісний смак, властивий рисовому борошну.

На наступному етапі досліджували показники якості рисового хліба із концентрацією закваски 20, 30 та 40% та порівнювали із контрольними зразками (хлібом пшеничним та хлібом рисовим без закваски).

Для визначення впливу рисової закваски на показники технологічного процесу та якості безглютенового хліба проводили пробні лабораторні випікання. Готували тісто двофазним способом із додаванням рисової закваски (до складу якої включали сіль, цукор кристалічний, дріжджі, олію за рецептурою) у кількості 20%, 30%, 40% до маси рисового борошна. При цьому орієнтувалися на те, що кислотність стиглої закваски має бути 7 град., оскільки за загальними технічними умовами кислотність не повинна перевищувати 8 град. Тривалість бродіння рисового тіста становила 10-15 хв., після чого тісто поділяли на тістові заготовки, проводили остаточне вистоювання в шафі за температури 35°C та вологості 75% та випікали формовий хліб за температури 190°C протягом 25 хв.

Показники якості, які досліджували: питомий об'єм, вологість і кислотність хліба, свіжість виробів та висота хліба.

Таблиця 3 – Показники якості безглютеного рисового хліба

№	Назва	Питомий об'єм, см ³ /г	Висота, см	Вологість, %	Кислотність, град
1	Контроль 1: Хліб пшеничний	2,30	10	43	3,5
2	Контроль 2: Хліб рисовий без закваски	1,20	5,3	45	0,8
3	Хліб рисовий (20% закваски)	1,16	5,5	41	2,5
4	Хліб рисовий (30% закваски)	1,16	5,2	41	3
5	Хліб рисовий (40% закваски)	1,37	5,1	42	4

Встановлено, що додавання рисової закваски зумовлює підвищення кислотності рисового тіста на 2-3 град. Крім того, додавання рисової закваски у кількості 40% позитивно впливає на підйомну силу і зменшує на 15-20 хв. тривалість вистоювання тістових заготовок (табл. 3, рис.1). Це пов'язано з кислим середовищем, в якому рисове тісто швидше набуває потрібних реологічних характеристик. Кислотність рисової закваски зумовила зростання кислотності готових виробів та їх вологості, питомий об'єм хліба поступається контрольному зразку, крім рисового хліба на заквасці 40%.

М'якість та черствіння хліба визначали за допомогою аналізатора текстури TA.Xtplus. Аналізатори текстури оцінюють властивості текстури, реєструючи силу, відстань і час зі швидкістю до 500 даних на секунду, потім відображають їх за допомогою вбудованої програми. Ці потужні й універсальні інструменти повністю відповідають зростаючим вимогам до точності, відтворюваності та кількісних даних під час вимірювання текстури та є новим кроком в еволюції від простих інструментів, що визначають лише один параметр, до багатофункціональних приладів із комп'ютерним керуванням, здатних виконувати широку низку вимірювань. Чим менше сили потрібно прикласти приладу, тим м'якший (свіжіший) виріб. Результати вимірювань узагальнено на рис. 2.

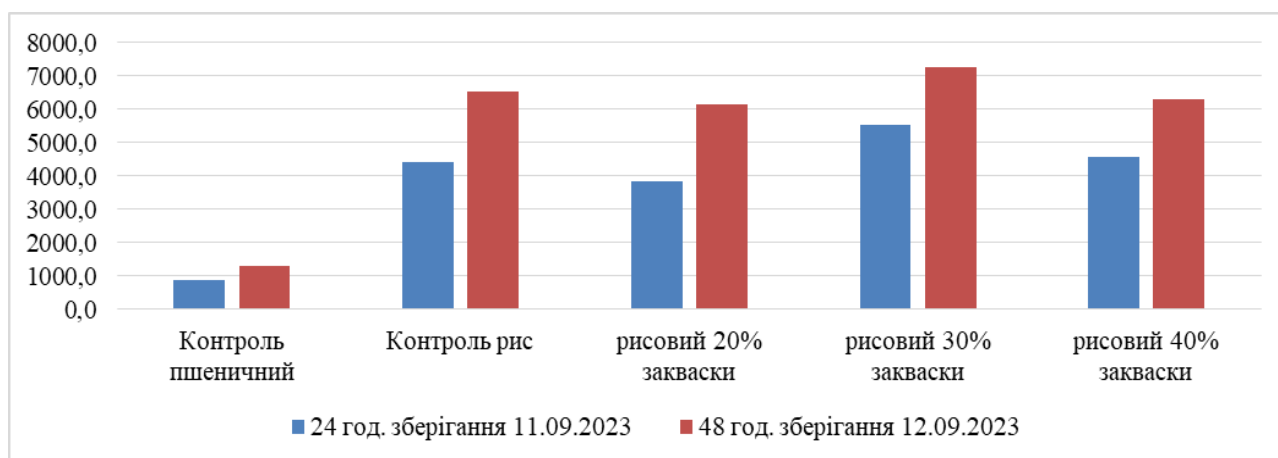


Рисунок 2 – М'якість та черствіння хліба (текстура) хліба при зберіганні

Аналізуючи дані рис. 2, можна зробити висновок, що хліб рисовий з додаванням 20% закваски має найменше значення приладу, яке становить 6157,1 од. Цей показник свідчить про те, що хліб рисовий з додаванням 20% закваски є найм'якшим серед всіх зразків хліба рисового з закваскою. Хліб з додаванням 30% закваски в першу добу був найтвердішим, проте, динаміка черствіння повільніша у порівнянні з іншими зразками. Якщо розглядати дані текстурометра для визначення свіжості виробів, ми можемо зробити наступні висновки: хліб рисовий з використанням 30% закваски черствіє менше за всі інші зразки.

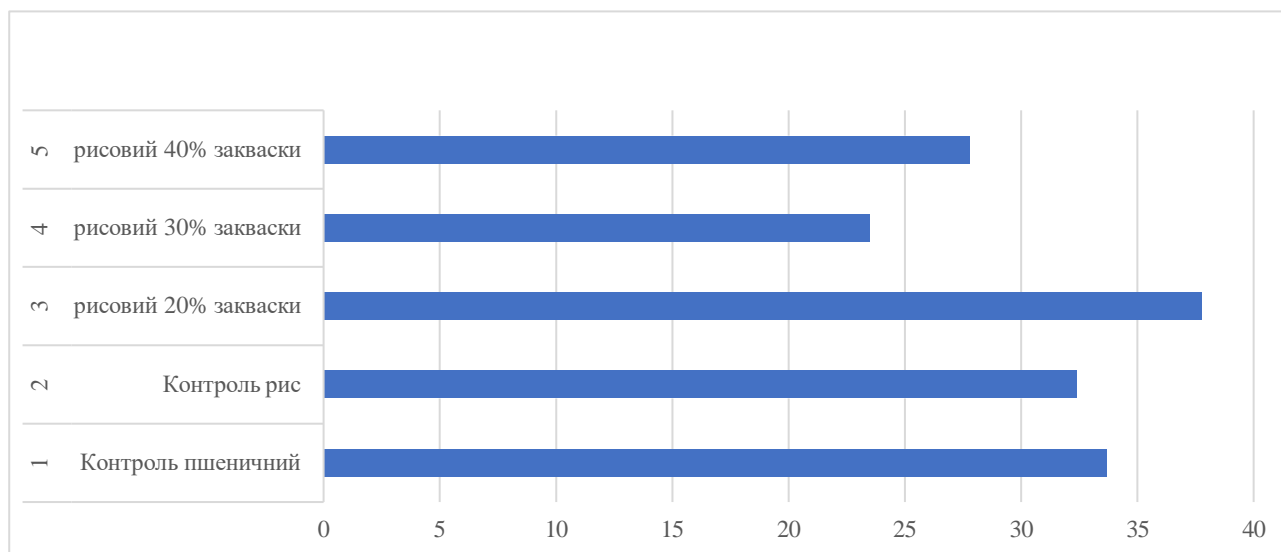


Рисунок 3 – Діаграма свіжості хліба

Дані діаграми свіжості свідчать, що зразок рисового хлібу із кількістю закваски 30% черствішає повільніше за контрольні зразки без закваски (на 43-47%) та дослідні зразки із закваскою 20% та 40% (відповідно на 60% та 17%).

Таким чином використання рисової закваски на стартері ЛВ1 в технології безглютенового рисового хліба доцільним, оскільки дозволяє забезпечити прискорення технологічного процесу, отримання хліба із високими споживчими характеристиками, подовження термінів зберігання.

Висновки. Обґрунтовано доцільність використання стартової закваски ЛВ1 Livendo™ в технології безглютенового рисового хліба. Дослідження впливу стартеру на фізико-хімічні, біотехнологічні та мікробіологічні показники якості (масову частку вологи, кислотність, активність МКБ, кількість МКБ та дріжджів) гречаної, кукурудзяної та рисової заквасок показало, що найбільш перспективною основою для приготування закваски для БГХ на основі стартеру ЛВ1 є рисове борошно.

Використання рисової закваски на основі стартеру ЛВ1 в технології безглютенового рисового хліба є доцільним, оскільки дозволяє суттєво поліпшити органолептичні показники рисового хліба: додавання закваски від 30% до маси борошна дозволяє позбутися головних сенсорних недоліків безглютенового хліба – світлої скоринки, нерівномірної пористості, надвисокої сухості м'якушки, невираженого прісного смаку і аромату. Таким чином, використання закваски в технології рисового БГХ дозволяє отримувати хліб із високими смаковими властивостями відповідно до запитів споживачів.

Встановлено, що додавання рисової закваски зумовлює підвищення кислотності рисового тіста на 2-3 град. Крім того, додавання рисової закваски у кількості 40% позитивно впливає на підйомну силу і зменшує на 15-20 хв. тривалість вистоювання тістових заготовок.

Додавання 30-40% закваски дозволяє сповільнювати черствіння хліба при зберіганні, проте, така кількість закваски зменшує м'якість хліба. Перспективою подальших досліджень є робота над усуненням цієї проблеми за рахунок використання певних технологічних прийомів та додаткових інгредієнтів.

Список літератури

1. Tack G. J., Verbeek W. H. M., Schreurs M. W. J., Mulder C. J. J. The spectrum of celiac disease: epidemiology, clinical aspects and treatment. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2010. №7. P. 204-213. <https://doi.org/10.1097/01.mpg.0000228102.89454.eb>.
2. Palmieri B., Vadala M., Laurino C. Gluten-free diet in non-celiac patients: beliefs, truths, advantages and disadvantages. *Minerva Gastroenterology & Dietology*. 2019. Vol. 65 (2). P. 153-162. <https://doi.org/10.23736/S1121-421X.18.02519-9>.
3. Newberry C. The gluten-free diet: use in digestive disease management. *Current Treatment Options in Gastroenterology*. 2019. Vol. 17 (4). P. 554-563. <https://doi.org/10.1007/s11938-019-00255-0>.
4. Arendt E. K., Moroni A., Zannini E. Medical nutrition therapy: use of sourdough lactic acid bacteria as a cell factory for delivering functional biomolecules and food ingredients in gluten free bread. *Microbial Cell Factories*. 2011. 10 (S1). S15. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-10-S1-S15>.
5. Gobbetti M., De Angelis M., Di Cagno R., Rizzello C. G. Sourdough lactic/acid bacteria. In: Arendt E. K., Dal Bello F. (Eds.). *Gluten-free Cereals Products and Beverages*. Elsevier, 2008. P. 267–288. URL: https://www.academia.edu/28281667/Gluten_Free_Cereal_Products_and_Beverages_pdf.
6. Gobbetti M., Rizzello C. G., Di Cagno R., De Angelis M. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*. 2014. Vol. 37. P. 30-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.012>.
7. Gänzle M. G. Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food Microbiology*. 2014. Vol. 37. P. 2-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.007>.
8. Šmídová Z., Rysová J. Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. *Foods*. 2022. Vol. 11. P. 480. <https://doi.org/10.3390/foods11030480>.
9. Jagelaviciute J., Cizeikiene D. The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. *LWT*. 2021. Vol. 137. 110457. <https://doi.org/10.ghzf8q>.
10. *Breadmaking: improving quality / Book: third edition*. Editor: Stanley P. Cauvain. Witney, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2021. 766 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02039-6>.
11. Demirkesen I., Mert B., Sumnu G., Sahin S. Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*. 2018. № 96. P. 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004>.
12. Plessas S. Innovations in sourdough bread making. *Fermentation*. 2021. 7. 29. <https://doi.org/10.3390/fermentation7010029>.
13. Zannini E., Pontonio E., Waters D. M., Arendt E. K. Applications of microbial fermentations for production of gluten-free products and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2012. Vol. 93. № 2. P. 473-485. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3707-3>.
14. Lanska V., Fedorova D., Slashcheva A. Scientific and theoretical aspects of using rice flour-based spontaneous fermentation sourders in gluten-free bread technology // *Science and technology: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference*. CPN Publishing Group. Osaka, Japan. 2022. Pp. 49-53. URL: <https://sci-conf.com.ua/i-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-technology-problems-prospects-and-innovations-19-21-10-2022-osaka-yaponiya-arhiv/>
15. Rühmkorf C., Jungkunz S., Wagner M., Vogel R. F. Optimization of homoexopolysaccharide formation by lactobacilli in gluten-free sourdoughs. *Food Microbiology*. 2012. Vol. 32 (2). P. 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.07.002>.
16. Kumar R. A., Routray W. Role of microbial fermentation in gluten-free products. In eBook: *Challenges and potential solutions in gluten free product development / Editors: N. Singh Deora, A. Deswal, M. Dwivedi*. 2022. P. 47-72. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-88697-4_4.

17. De Vuyst L., Van Kerrebroeck S., Harth H., Huys G., Daniel H.-M., Weckx S. Microbial ecology of sourdough fermentations: diverse or uniform? *Food Microbiology*. 2014. Vol. 37. P. 11–29. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.002>.
18. Gänzle M. G., Zheng J. Lifestyles of sourdough Lactobacilli – do they matter for microbial ecology and bread quality? *International Journal of Food & Microbiology*. 2018. Vol. 302. P. 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.019>.
19. Fraberger V., Unger C., Kummer C., Domig K. J. Insights into microbial diversity of traditional austrian sourdough. *LWT*. 2020. Vol. 127. 109358. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109358>.
20. De Vuyst L., Vancanneyt M. Biodiversity and identification of sourdough lactic acid bacteria. *Food Microbiology*. 2007. 24(2). P. 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.005>.
21. Edema M. O., Emmambux M. N., Taylor J. R. N. Improvement of fonio dough properties through starch modification by sourdough fermentation. *Starch*. 2013. Vol. 65. Is. 9-10. P. 730-737. <https://doi.org/10.1002/star.201200>.
22. Tafti A. G., Peighambardoust S. H., Hesari J., Bahrami A., Bonab E. S. Physico-chemical and functional properties of spraydried sourdough in breadmaking. *Food Science and Technology International*. 2013. Vol. 19. Is. 3. P. 271–278. <https://doi.org/10.1177/1082013212452415>.
23. Ganzle M. G., Lojonen J., Gobbetti M. Proteolysis in sourdough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality. *Trends in Food Science & Technology*. 2008. Vol. 19. Is. 10. P. 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.04.002>.
24. Moroni A. V., Dal Bello F., Arendt E. K. Sourdough in gluten-free bread-making: an ancient technology to solve a novel issue? *Food Microbiology*. Vol. 26. Is.7. P. 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.001>.
25. Galimberti A., Bruno A., Agostinetto G., Casiraghi M., Guzzetti L., Labra M. Fermented food products in the era of globalization: tradition meets biotechnology innovations. *Current Opinion in Biotechnology*. 2021. Vol. 70. P. 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.10.006>.
26. Hangyan Dan, Zepeng Gu, Cheng Li, Zhengfeng Fang, Bin Hu, Caixia Wang, Saiyan Chen, Xiaoshu Tang, Yuanyuan Ren, Wenjuan Wu, Zhen Zeng, Yuntao Liu. Effect of fermentation time and addition amount of rice sourdoughs with different microbial compositions on the physicochemical properties of three gluten-free rice breads. *Food Research International*. 2022. Vol. 161. 111889. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111889>.
27. Thomas Remilekun M., Falegan Christopher R., Olojede Ayoyinka O., Oludipe Emmanuel O., Awarun Olorunfemi D., Daodu Gladys O. Nutritional and sensory quality of Ofada rice sourdough bread made with selected lactic acid bacteria strains. *Heliyon*. 2023. Vol. 9. Is. 10. e20828. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20828>.
28. Üçok G., Hayta M. Effect of sourdough addition on rice based gluten-free formulation: rheological properties of dough and bread quality. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 2020. Vol. 7 (5). P. 643-649. <https://doi.org/10.3920/QAS2014.0440>.
29. Mohd Roby B. H., Muhiaddin B. J., Abadi M. M. T., Mat Nor N. A., Marzlan A. A., Lim S. A. H., Mustapha N. A., Meor Hussin A. S. Physical properties, storage stability, and consumer acceptability for sourdough bread produced using encapsulated kombucha sourdough starter culture. *Journal of Food Science*. 2020. Vol. 85. P. 2286–2295. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15302>.
30. Gobbetti M., De Angelis M., Di Cagno R., Calasso M., Archetti G., Rizzello C. G. Novel insights on the functional/nutritional features of the sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*. 2019. Vol. 302. P. 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.05.018>.
31. Jin J., Nguyen T. T. H., Humayun S., Park S., Oh H., Lim S., Mok I.-K., Li Y., Pal K., Kim D. Characteristics of sourdough bread fermented with *Pediococcus pentosaceus* and *Saccharomyces cerevisiae* and its bio-preservative effect against *Aspergillus flavus*. *Food Chemistry*. 2021. Vol. 345. 128787. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128787>.

32. R. Anand Kumar, Winny Routray. Role of microbial fermentation in gluten-free products / In: Challenges and potential solutions in gluten free product development. Food Engineering Series, 2021. Pp. 47–71. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88697-4_4.

33. Федорова Д. В., Слащева А. В., Ланська В. Д. Технологічні аспекти виробництва безглютенового хліба на заквасках. *Sustainable food chain and safety through science, knowledge and business*: Scientific monograph. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2023. p. 247-289. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-328-6-12>.

34. Стартова культура ЛВ1 Livendo™. URL: <https://lesaffre.ua/products/startova-kultura-lv1-livendo/>.

References

1. Tack, G. J.; Verbeek, W. H. M.; Schreurs, M. W. J.; Mulder, C. J. J. (2010). The spectrum of celiac disease: epidemiology, clinical aspects and treatment, *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 7, 204-213. <https://doi.org/10.1097/01.mpg.0000228102.89454.eb>.

2. Palmieri, B.; Vadala, M.; Laurino, C. (2019). Gluten-free diet in non-celiac patients: beliefs, truths, advantages and disadvantages, *Minerva Gastroenterology & Dietology*, 65 (2), 153-162. <https://doi.org/10.23736/S1121-421X.18.02519-9>.

3. Newberry, C. (2019). The gluten-free diet: use in digestive disease management, *Current Treatment Options in Gastroenterology*, 17 (4), 554-563. <https://doi.org/10.1007/s11938-019-00255-0>.

4. Arendt, E. K.; Moroni, A.; Zannini, E. (2011). Medical nutrition therapy: use of sourdough lactic acid bacteria as a cell factory for delivering functional biomolecules and food ingredients in gluten free bread, *Microbial Cell Factories*, 10 (S1), S15. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-10-S1-S15>.

5. Gobbetti, M.; De Angelis, M.; Di Cagno, R.; Rizzello, C. G. (2008). Sourdough lactic/acid bacteria. In: *Gluten-free Cereals Products and Beverages*. Elsevier, 267–288. URL: https://www.academia.edu/28281667/Gluten_Free_Cereal_Products_and_Beverages_pdf.

6. Gobbetti, M.; Rizzello, C. G.; Di Cagno, R.; De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods, *Food Microbiology*, 37, 30-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.012>.

7. Gänzle, M. G. (2014). Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation, *Food Microbiology*, 37, 2-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.007>.

8. Šmídová, Z.; Rysová, J. (2022). Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology, *Foods*, 11, 480. <https://doi.org/10.3390/foods11030480>.

9. Jagelaviciute, J.; Cizeikiene, D. (2021). The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread, *LWT*, 137, 110457. <https://doi.org/10/ghzf8q>.

10. Breadmaking: improving quality / Book: third edition. (2021). Editor: Stanley P. Cauvain. Witney, United Kingdom: Woodhead Publishing, 766. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02039-6>.

11. Demirkesen, I.; Mert, B.; Sumnu, G.; Sahin, S. (2018). Rheological properties of gluten-free bread formulations, *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.004>.

12. Plessas, S. (2021). Innovations in sourdough bread making, *Fermentation*, 7 (29). <https://doi.org/10.3390/fermentation7010029>.

13. Zannini, E.; Pontonio, E.; Waters, D. M.; Arendt, E. K. (2012). Applications of microbial fermentations for production of gluten-free products and perspectives, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93 (2), 473-485. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3707-3>.

14. Lanska, V.; Fedorova, D.; Slashcheva, A. (2022). Scientific and theoretical aspects of using rice flour-based spontaneous fermentation sourders in gluten-free bread technology // *Science and technology: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference*. CPN Publishing Group. Osaka, Japan, 49-53. URL: <https://sci->

[conf.com.ua/i-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-technology-problems-prospects-and-innovations-19-21-10-2022-osaka-yaponiya-arhiv/](https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.07.002)

15. Rühmkorf, C.; Jungkunz, S.; Wagner, M.; Vogel, R. F. (2012). Optimization of homoexopolysaccharide formation by lactobacilli in gluten-free sourdoughs, *Food Microbiology*, 32 (2), 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.07.002>.

16. Kumar, R. A.; Routray, W. (2022). Role of microbial fermentation in gluten-free products. In eBook: Challenges and potential solutions in gluten free product, 47-72. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-88697-4_4.

17. De Vuyst, L.; Van Kerrebroeck, S.; Harth, H.; Huys, G.; Daniel, H.-M.; Weckx, S. (2014). Microbial ecology of sourdough fermentations: diverse or uniform? *Food Microbiology*, 37, 11–29. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.002>.

18. Gänzle, M. G.; Zheng, J. (2018). Lifestyles of sourdough Lactobacilli – do they matter for microbial ecology and bread quality? *International Journal of Food & Microbiology*, 302, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.019>.

19. Fraberger, V.; Unger, C.; Kummer, C.; Domig K. J. (2020). Insights into microbial diversity of traditional austrian sourdough, *LWT*, 127, 109358. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109358>.

20. De Vuyst, L.; Vancanneyt, M. (2007). Biodiversity and identification of sourdough lactic acid bacteria, *Food Microbiology*, 24 (2), 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.005>.

21. Edema, M. O.; Emmambux, M. N.; Taylor, J. R. N. (2013). Improvement of fonio dough properties through starch modification by sourdough fermentation, *Starch*, 65 (9-10), 730-737. <https://doi.org/10.1002/star.201200>.

22. Tafti, A. G.; Peighamardoust, S. H.; Hesari, J.; Bahrami, A.; Bonab, E. S. (2013). Physico-chemical and functional properties of spraydried sourdough in breadmaking, *Food Science and Technology International*, 19 (3), 271–278. <https://doi.org/10.1177/1082013212452415>.

23. Ganzle, M. G.; Loponen, J.; Gobbetti, M. (2008). Proteolysis in sourdough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality, *Trends in Food Science & Technology*, 19 (10), 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.04.002>.

24. Moroni, A. V.; Dal Bello, F.; Arendt, E. K. (2009). Sourdough in gluten-free bread-making: an ancient technology to solve a novel issue? *Food Microbiology*, 26 (7), 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.001>.

25. Galimberti, A.; Bruno, A.; Agostinetto, G.; Casiraghi, M.; Guzzetti, L.; Labra, M. (2021). Fermented food products in the era of globalization: tradition meets biotechnology innovations, *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.10.006>.

26. Hangyan, Dan; Zepeng, Gu; Cheng, Li; Zhengfeng, Fang; Bin, Hu; Caixia, Wang; Saiyan, Chen; Xiaoshu, Tang; Yuanyuan, Ren; Wenjuan, Wu; Zhen, Zeng; Yuntao, Liu. (2022). Effect of fermentation time and addition amount of rice sourdoughs with different microbial compositions on the physicochemical properties of three gluten-free rice breads, *Food Research International*, 161, 111889. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111889>.

27. Thomas Remilekun, M.; Falegan, Christopher R.; Olojede, Ayoyinka O.; Oludipe, Emmanuel O.; Awarun, Olorunfemi D.; Daodu, Gladys O. (2023). Nutritional and sensory quality of Ofada rice sourdough bread made with selected lactic acid bacteria strains, *Heliyon*, 9 (10), e20828. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20828>.

28. Üçok, G.; Hayta, M. (2020). Effect of sourdough addition on rice based gluten-free formulation: rheological properties of dough and bread quality, *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7 (5), 643-649. <https://doi.org/10.3920/QAS2014.0440>.

29. Mohd Roby, B. H.; Muhialdin, B. J.; Abadl, M. M. T.; Mat Nor, N. A.; Marzlan, A. A.; Lim, S. A. H.; Mustapha, N. A.; Meor Hussin, A. S. (2020). Physical properties, storage stability, and consumer acceptability for sourdough bread produced using encapsulated kombucha sourdough starter culture, *Journal of Food Science*, 85, 2286–2295. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15302>.

30. Gobbetti, M.; De Angelis, M.; Di Cagno, R.; Calasso, M.; Archetti, G.; Rizzello, C.G. (2019). Novel insights on the functional/nutritional features of the sourdough fermentation, *International Journal of Food Microbiology*, 302, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.05.018>.
31. Jin, J.; Nguyen, T. T. H.; Humayun, S.; Park, S.; Oh, H.; Lim, S.; Mok, I.-K.; Li, Y.; Pal, K.; Kim, D. (2021). Characteristics of sourdough bread fermented with *Pediococcus pentosaceus* and *Saccharomyces cerevisiae* and its bio-preservative effect against *Aspergillus flavus*, *Food Chemistry*, 345, 128787. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128787>.
32. R. Anand, K.; Winny, R. (2021). Role of microbial fermentation in gluten-free products / In: Challenges and potential solutions in gluten free product development. Food Engineering Series, 47–71. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88697-4_4.
33. Fedorova, D. V.; Slashcheva, A. V.; Lanska, V. D. (2023). Tekhnolohichni aspekty vyrobnytstva bezghliutenovoho khliba na zakvaskakh [Technological aspects of gluten-free sourdough bread production]. *Sustainable food chain and safety through science, knowledge and business: Scientific monograph*. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 247-289. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-328-6-12>.
34. Starter culture LV1 Livendo™. URL: <https://lesaffre.ua/products/startova-kultura-lv1-livendo/>.

Objective is to justify the feasibility of using Livendo™ LV-1 starter sourdough in the technology of gluten-free rice bread.

Methods. The work uses generally accepted standard methods of research, which ensured the fulfillment of the task. The research was carried out on the basis of the production laboratory of the enterprise "Zeelandia", the city of Brovary (SE "Zeelandia Group", the Netherlands). The specific volume of bread (cm³/g) was determined by dividing the volume of bread by its mass and expressed with an accuracy of 0.01 cm³/g. The volume of bread in cm³ was measured using the RZ-BIO device, which works on the principle of measuring the volume of bulk filler squeezed out of bread. Bread crumb moisture (%) was determined by the express method on the HF device at 160°C for 5 min (according to DSTU 7045:2009 "Bakery products. Methods of determining physical and chemical parameters"). The acidity of bread crumb was determined by the arbitration method (titration with sodium hydroxide) according to DSTU 7045:2009. Softness and staleness of bread were determined using a texture analyzer (texturometer) TA.Xtplus.

Results. The expediency of using LV1 Livendo™ starter sourdough in the technology of gluten-free rice bread is substantiated. It has been proven that rice flour is the most promising base for preparing sourdough for gluten-free bread based on LV1 starter. The use of rice sourdough on the basis of LV1 starter in the technology of gluten-free rice bread in the amount of 30% to the mass of flour is advisable, as it makes it possible to obtain products with a golden crust, uniform porosity, moderately moist pulp, pronounced pleasant taste and aroma. It was established that the addition of rice zakawaska leads to an increase in the acidity of the rice dough by 2-3 degrees. In addition, the addition of rice sourdough in the amount of 40% has a positive effect on the lifting force and reduces it by 15-20 min. duration of dough blanks. Adding 30-40% of sourdough helps to slow down the staleness of bread during storage, however, this amount of sourdough reduces the softness of bread. The prospect of further research is to work on eliminating this problem through the use of certain technological techniques and additional ingredients.

Keywords: gluten-free rice bread, rice sourdough, LV-1 starter, quality indicators.

Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент
Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент
Боднарук О. А., асистент
Трухін О. Д., здобувач ОС магістра
Романова О. В., здобувач ОС магістра

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛАМІНАРІЇ ЦУКРОВОЇ НА ЯКІСНІ ТА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА

UDC 664.644.5

Simakova O. O., PhD in Engineering sciences, Associate Professor
Gorainova Iu. A., PhD in Engineering sciences, Associate Professor
Bodnaruk O. A., Assistant
Trukhin O. D., A graduate of a master's degree
Romanova O. V., A graduate of a master's degree

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

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SUGAR KELP ON THE QUALITATIVE AND STRUCTURAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF YEAST DOUGH

Мета – вивчення впливу ламінарії цукрової на якісні показники дріжджового тіста.

Методи. Дослідження амілолітичної активності сухої ламінарії цукрової (морської капусти) були проведені з використанням модельного субстрату – 2 %-вого розчину частково декстринізованого крохмалю. Активність ферментного препарату оцінювали по кількості утвореної в реакційній суміші мальтози – продукту глибокого гідролізу крохмалю. Ферментний препарат використовували у вигляді борошна, яке отримали із сухої морської капусти та її 5 %-вої водної витяжки. Активність β -амілази визначали як різницю між сумарною активністю і активністю α -амілази. Якість клейковини пшеничного борошна визначали по розпливанню кульки із 10 г клейковини після годинного відлежування.

Результати. Були проведені дослідження амілолітичної активності ламінарії цукрової (морської капусти) з використанням модельного субстрату – 2 %-вого розчину частково декстринізованого крохмалю та пшеничного борошна з добавкою сухої морської капусти. Отримані результати дали можливість констатувати амілолітичну активність ламінарії цукрової. Цукроутворююча властивість борошна різко підвищується з додаванням добавки. Це дає можливість вважати суху ламінарію цукрову (морську капусту) повноцінним препаратом активних амілаз. Під час додавання до борошна сухої морської капусти значення рН в дріжджовому і прісному тісті не змінюється, величини рН також незмінні і в готових виробках. Досліджені якісні та структурно-механічні показники контрольних і дослідних

зразків показали невеликі відмінності, тому можна вважати, що тісто являється еластичним і добре розтяжним, має високі показники пластичності. Тісто як в контрольних зразках, так і в дослідних, однаково.

Добавка борошна із сухої ламінарії цукрової (морської капусти) має достатню амілолітичну активність, що виводить її майже на один рівень з ячмінним солодом. Встановлена оптимальна доза внесення добавки в дріжджове тісто, вивчений вплив добавки на якісні та структурно-механічні показники тіста.

Ключові слова: ламінарія цукрова, морська капуста, амілолітична активність, якісні показники, дріжджове тісто.

Постановка проблеми. Важливе місце в асортименті виробів, які реалізуються підприємствами харчування, посідають борошняні вироби. Особливо великим попитом користуються вироби із дріжджового тіста. Враховуючи, що в раціонах харчування необхідно знизити загальну вагу продуктів з високою енергетичною цінністю, назріла необхідність розробки виробів з меншим вмістом енергоємних компонентів при збереженні якості і органолептичних властивостей, які притаманні дріжджовому тісту [1]. Поставлену проблему можна вирішити шляхом часткової заміни пшеничного борошна в рецептурі іншим нетрадиційним для борошняних виробів видом сировини. Пропонуємо з цією метою ламінарію цукрову (морську капусту), яка завдяки особливостям свого хімічного складу і технологічним властивостям може забезпечити високу якість готових виробів [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вченими і практиками розробляються рецептури хлібобулочних виробів, що включають окрім традиційних для даного продукту інгредієнтів і додаткові компоненти, що забезпечують збагачення тими чи іншими компонентами [3]. Перспективною добавкою при виробництві хліба з борошна пшеничного служать морські сировинні ресурси [1-4]. Одним з компонентів є гідробіонти рослинного походження – бурі морські водорості. Вони дозволяють збагатити харчовий раціон дефіцитними для більшості продуктів біогенними елементами, йодовмісними сполуками, поліненасиченими жирними кислотами, харчовими кислотами [5]. Біологічно активні речовини водоростей мають багатоаспектну позитивну дію на організм людини. На підставі аналізу літературних джерел і практичних досліджень встановлено, що ламінарія є незамінним джерелом одночасно як органічного, так і неорганічного йоду, перевершуючи за антизобними властивостями йодисті солі [6]. Крім високого вмісту йоду ламінарія багата харчовими волокнами, альгіновими кислотами, солями калію та інших мінеральних речовин [5-7].

Метою статті є вивчення впливу ламінарії цукрової на якісні показники дріжджового тіста.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для того, щоб можна було пропонувати використання ламінарії цукрової (морської капусти) в якості добавки, багатой вітамінами, мінеральними і другими корисними речовинами для організму, яка підвищує харчову і біологічну цінність виробів із пшеничного борошна, слід детально вивчити її вплив на амілолітичну активність.

Були проведені дослідження амілолітичної активності сухої морської капусти з використанням модельного субстрату – 2 %-вого розчину частково декстринізованого крохмалю.

Активність ферментного препарату оцінювали по кількості утвореної в реакційній суміші мальтози – продукту глибокого гідролізу крохмалю. Ферментний препарат використовували у вигляді борошна, яке отримали із сухої морської капусти та її 5 %-вої водної витяжки.

Слід відмітити, що в першу чергу слід було визначити роздільну активність α - і β -амілаз, які присутні в ферментній сировині. α -амілаза гідролізує 1,4-глюконові зв'язки в молекулі полісахаридів. Молекула крохмалю при цьому розщеплюється на великі осколки, проходить його деполімеризація. Одним з найбільш характерних ознак впливу α -амілази є швидке

розрідження клейстеризованого крохмалю. Процес розпаду крохмалю при високій активності α -амілази протікає особливо інтенсивно в умовах високої температури під час випікання і можуть обумовити значне зниження якості м'якушки виробу. α -амілаза розщеплює кожний другий глікозидний зв'язок, починаючи з кінця ланцюга полісахариду, при цьому відщеплюється мальтоза. Таким чином, з самого початку дії α -амілази в реакційній суміші створюється редукуючий цукор, що утворює сприятливі умови для бродіння тіста. При нагріванні ферментної суміші протягом 15 хвилин при температурі 70 °С α -амілаза майже повністю зберігається [6].

Щоб стабілізувати α -амілазу при такому способі інактивування β -амілази рекомендується додавати невелику кількість ацетату кальцію. Визначена таким чином кількість редукуючих цукрів характеризує активність α -амілази, активність же β -амілази визначають як різницю між сумарною активністю і активністю α -амілази.

Дані з активності α -амілази та сумарної амілазної активності наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Визначення α - і β -амілаз в борошні із сухої морської капусти

№	Ферментний препарат	Вміст мальтози, %
1	5 %-ва водна витяжка із сухої морської капусти з неінактивованою β -амілазою	11,4
2	5 %-ва водна витяжка із сухої морської капусти з інактивованою β -амілазою	1,1
3	Розрахункове значення активності β -амілази	10,3

Дані таблиці 1 узгоджуються з літературними даними, які свідчать, що активність α -амілази, яка характерна для рослинної сировини, дуже низька. Однак, активність амілазного комплексу може бути підвищена шляхом використання невеликих добавок іонів Ca^{2+} , які приймають участь в формуванні і стабілізації активного центру і всієї третинної структури ферменту. Дані наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Гідроліз крохмалю під впливом амілаз сухої морської капусти

№	Субстрат	Ферментний препарат	Вміст мальтози, %
1	2 %-вий розчин крохмалю	5 %-ва водна витяжка ячменного солоду	17,2
2	-//-	5 %-ва водна витяжка із сухої морської капусти	12,3
3	-//-	5 %-ва витяжка із сухої морської капусти на розчині хлористого кальцію (CaCl_2 0,01 г/л)	16,3

Дійсно, невелика добавка хлориду кальцію в реакційну суміш різко підвищує амілазну активність препарату і виводить її майже на один рівень з ячмінним солодом.

Отримані результати дали можливість констатувати амілолітичну активність сухої морської капусти. Але необхідно було вибрати оптимальну концентрацію добавки. При цьому бралася до уваги, щоб добавки було достатньо, щоб тісто і виробу збагачувалися вітамінами, йодом, альгіновою кислотою, щоб передозування добавки не знижувало реологічні властивості тіста [7]. Концентрація повинна бути такою, щоб не впливала на колір борошна, і на колір м'якушки виробу.

Залежність вмісту основних біологічно-активних речовин в пшеничному борошні від концентрації добавки наведена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Залежність вмісту основних біологічно активних речовин в пшеничному борошні від концентрації добавки із сухої морської капусти

№	Концентрація добавки, %	Вміст в борошні біологічно-активних речовин					
		білок, %	вітамін С, %	каротин, мг %	альгінова кислота, %	йод, мг %	селен, мг %
1	0	12,7	-	-	-	-	-
2	0,50	12,7	0,36	0,1	0,18	0,02	0,01
3	0,75	12,8	0,41	0,25	0,24	0,04	0,02
4	4,0	12,9	1,2	0,30	0,32	0,08	0,025
5	2,0	13,1	1,6	0,32	0,41	1,0	0,038
6	2,5	13,3	2,6	0,39	0,62	1,5	0,056
7	3,0	13,4	2,8	0,41	0,71	1,8	0,068
8	4,0	13,8	3,1	0,43	0,79	2,1	0,069
9	5,0	14,1	3,3	0,45	0,83	2,5	0,073

Дані таблиці 3 свідчать, що малі концентрації сухої морської капусти мало визначаються на якісному складі пшеничного борошна і лише починаючи з добавки 2,0 – 2,5 % впливає на біологічну цінність борошна. Додавання добавки в концентрації 3,0-5,0 % і вище погіршують хлібопекарні властивості пшеничного борошна. Таким чином, додавання добавки в кількості 2,0-2,5 % сухої морської капусти являється найдоцільнішим. Така концентрація добавки збагачує пшеничне борошно основними біологічно-активними речовинами, а з іншої сторони – недостатньо велика для погіршення якості клейковини.

В якості критерію хлібопекарської властивості пшеничного борошна ми вибрали якість його клейковини, яка визначається по розпливанню кульки із 10 г клейковини після годинного відлежування [8, 9]. Дані по розпливанню кульки клейковини, яку було відміто з пшеничного борошна, що містить різну концентрацію сухої морської капусти (ламінарії цукрової), наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Залежність розпливання кульки клейковини, яку відміто з пшеничного борошна, від концентрації добавки сухої морської капусти

№	Концентрація добавки, %	Діаметр кульки, мм
1	2	3
1	2	3
2	0	41
3	0,50	41
4	2	3
5	0,75	42
6	1,0	43
7	2,0	45
8	2,5	48
9	3,0	56
10	4,0	85
11	5,0	110

Як свідчать дані таблиці 4, невеликі дози добавки не послаблюють клейковину борошна, доки концентрація не перевищує 2,5 %, борошно з домішкою до 2,5 % стає трішки з сіруватим відтінком, але такий колір пшеничного борошна не виходить за рамки вимог.

Дані з амілолітичної активності пшеничного борошна з додаванням добавки сухої ламінарії цукрової (морської капусти) та її водної витяжки наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Амілолітична активність пшеничного борошна з добавкою сухої морської капусти

№	Ферментний препарат	Вміст мальтози, %
1	Сухий ячмінний солод	9,8
2	Суша морська капуста	8,0
3	5%-ва водна витяжка із сухої морської капусти	9,1
4	Без препарату (контроль)	3,9

Як видно з таблиці 5, цукроутворююча властивість борошна різко підвищується з додаванням добавки. Це дає можливість вважати суху ламінарію цукрову (морську капусту) повноцінним препаратом активних амілаз.

Під час використання сухої морської капусти визначалося значення рН в дріжджовому та прісному тісті (внесення добавки – 2,5 % від маси борошна).

Таблиця 6 – Показники значення рН в дріжджовому та прісному тісті

№	Показник	Дріжджове тісто		Прісне тісто	
		контроль	зразок з 2,5 % добавки	контроль	зразок з 2,5 % добавки
1	рН	4,7	4,6	5,1	5,0
Готові вироби					
2	рН	4,7	4,6	5,1	5,0

Під час аналізу даних таблиці 6 можна зробити висновок, що під час додавання до борошна сухої морської капусти (ламінарії цукрової) значення рН в дріжджовому і прісному тісті не змінюється, величини рН також незмінні і в готових виробах. Згідно з нормативною документацією кислотність виробів повинна бути в інтервалах рН від 4,5 до 5,2 одиниць. В виробах з додаванням морської капусти значення не перевищує 5,0.

Таким чином, добавка з морської капусти не змінює кислотності тіста та готових виробів.

Нами досліджені якісні показники дріжджового тіста з добавкою. Дані наведені у таблицях 7, 8.

Таблиця 7 – Показники якості тіста

№	Показники	Контрольний зразок	Зразок з 2,5 % добавки	Різниця, %
1	Загальна волога, %	34,9	39,6	+13,5
2	Сухі речовини, %	12,3	15,4	+25,2
3	Кількість клейковини, % (на суху речовину)	82,3	71,8	-12,3
4	Набухання клейковини, %	18,1	17,5	-3,3
5	Щільність тіста, кг/см ²	54,9	48,8	-11,1

Таблиця 8 – Показники підйому і бродіння тіста

№	Найменування видів тіста	Час первинного підйому, хв.	Різниця з контролем, %	Термін бродіння, хв.	Різниця з контролем, %
1	Тісто (контроль)	30	–	100	–
2	Тісто з добавкою 2,5 % морської капусти	25	+16,7	60	40

Аналізуючи дані таблиці 8 можна зробити висновок, що додавання до пшеничного борошна сухої морської капусти підвищує в тісті вологу на 13,5 %, сухі речовини – на 2,52 %, але кількість клейковини знижується на 12,8 %. Знижується також такі показники, як набухання клейковини і його щільність – відповідно на 3,3 і 11,1 %.

Якість виробів залежить від структурно-механічних показників тіста [10]. Дані наведені в таблиці 9.

Таблиця 9 – Структурно-механічні показники тіста

№	Показники	Тісто дріжджове (контроль)	Тісто з добавкою морської капусти	Різниця з контролем, %
1	Висота напівфабрикату після розстоювання (20 хв.), см	4,0	3,9	-2,5
2	Модуль еластичності E^*10 5Па	74,0	75,5	+2,02
3	Пластичність p , %	39,3	38,8	-1,3
4	Час відновлення напівфабрикату після деформації, хв.	162	175	-13 хв.

Результати досліджень показують, що борошняні вироби після однакового часу розстоювання (20 хв.) мають не однаковий підйом. Максимальну висоту мали контрольні вироби – 4,0 см, в той же час у виробах з добавкою морської капусти (ламінарії цукрової) був підйом трошки нижчий – 3,9 см (тобто на 2,5 %). Скоріше відновлюються напівфабрикати без добавки (на 13 хв.). Дослідження також показали, що є різниця в структурно-механічних показниках. Модуль еластичності в дослідних зразках підвищився на 2,02 %.

З підвищенням показника модуля еластичності у дослідних зразках відмічається зростання в'язкості тіста (на 1,4 %). Пластичність знижується у зразках з додаванням морської капусти (ламінарії цукрової) на 1,3 %.

Структурно-механічні показники контрольних і дослідних зразків незначно відрізняються, тому можна вважати, що тісто являється еластичним і добре розтяжним, має високі показники пластичності. Тісто як в контрольних зразках, так і в дослідних, однакове.

Висновки. Добавка борошна із сухої ламінарії цукрової (морської капусти) має достатню амілолітичну активність, що виводить її майже на один рівень з ячмінним солодом. Встановлена оптимальна доза внесення добавки в дріжджове тісто, вивчений вплив добавки на якісні та структурно-механічні показники тіста.

У подальшому планується розроблення новітніх технологій виробів із дріжджового тіста з використанням ламінарії цукрової.

Список літератури

1. Сімакова О. О., Никифоров Р. П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна з заданими властивостями: монографія. Кривий Ріг: ДонНУЕТ. 2018. 146 с.
2. Levenspiel O. Chemical reaction engineering. New York: USA. 2016. 450 p.
3. Активация рослинних біологічно активних речовин фізичними методами: монографія / Павлюк Р. Ю. та ін. Харків, 2010. 157 с.
4. Корзун В. Н., Тихоненко Ю. С. Функціональні продукти і їх роль у харчуванні людини. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2010. Вип. 38 (2). С. 173–178.
5. Jing Peng, Juming Tang. Thermal pasteurization of vegetables: critical. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2015. Vol. 10. P. 430–440.
6. Семенова Л. Я. Вплив морської капусти на якісні показники дріжджового тіста. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2011. № 27. С. 239–244.
7. Семенова Л. Я. Вплив ламінарії цукрової на якісні показники дріжджового тіста. *Вісник ДонНУЕТ. Технічні науки*. 2012. № 1 (53). С. 153–157.
8. Simakova O., Korenets Yu., Yudina T., Nazarenko I., Goriainova Iu. Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough. *Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production*. 2018. Vol. 2. №11 (92). P. 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127173>.
9. Сімакова О. О., Горайнова Ю. А., Пусікова О. А., Василевська А. О. Дослідження можливості використання добавок амаранту багряного в технології хлібобулочних виробів. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2022. Вип. 1 (44). С. 14–20. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2022-44-1-14-20>.
10. Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O., Goriainova Iu., Rogovaya A., Choni I. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production*. 2019. Vol. 6. № 11 (102). P. 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184464>.

References

1. Simakova, O. O., Nykyforov, R. P. (2018). *Rozrobka novitnikh tekhnolohii vyrobiv z boroshna s zadanyimi vlastyvostiamy* [Development of the newest technologies of products from flour with the set properties]. Kryvyi Rih, DonNUET Publ., 146 p.
2. Levenspiel, O. (2016). *Inzheneriya khimichnykh reaktsiy* [Chemical reaction engineering]. New York: USA. 450 p.
3. Pavliuk, R. Yu. (2010) *Aktyvatsiya roslynnykh biolohichno aktyvnykh rehovyn fizychnymy metodamy* [Activation of plant biologically active substances by physical methods]: monohrafiya / R. Yu. Pavliuk (Ed.). *Kharkiv* [Kharkiv], 157 p.
4. Korzun, V. N., Tykhonenko, Yu. S. (2010). *Funktsionalni produkty i yikh rol u kharchuvanni liudyny* [Functional products and their role in human nutrition], *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii* [Scientific Works of Odessa National Academy of Food Technologies], 38 (2), pp. 173–178.
5. Jing, Peng, Juming, Tang. (2015). Thermal pasteurization of vegetables: critical. *Critical reviews in food science and nutrition*, 10, P. 430–440.
6. Semenova, L.Ya. (2011). *Vpliv mors'koї kapusti na yakisni pokazniki drizhdzhovogo tista* [The impact of seaweed on quality indicators of dough]. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovykh virobnitstv* [Food production equipment and technology], 27, pp. 239–244.
7. Semenova, L. Ya. (2012). *Vplyv laminarii tsukrovoi na yakisni pokaznyky drizhdzhovoho tista* [The impact of sugar kelp on quality indicators dough]. *Visnik DonNUYET. Tekhnichni nauky* [Bulletin of DonNUET. Technical sciences], 1 (53), pp. 153–157.

8. 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: Technology and equipment of food production*, 2, 11 (92), pp. 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127173>.

9. Simakova O. O., Horiainova Yu. A., Pusikova O. A., Vasylevska A. O. (2022). *Doslidzhennia mozhyvosti vykorystannia dobavok amarantu bahrianoho v tekhnologii khlibobulochnykh vyrobiv* [Investigation of the possibility of using amaranth supplements in the technology of bakery products], *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], 1 (44), pp. 14–20. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2022-44-1-14-20>.

10. Mykhaylov, V., Samokhvalova, O., Kucheruk, Z., Kasabova, K., Simakova, O., Goriainova, Iu., Rogovaya, A., Choni, I. (2019). Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products, *Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production*, 6, 11 (102). pp. 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184464>.

Objective – study of the influence of sugar kelp on the quality indicators of yeast dough.

Methods. Studies of the amyolytic activity of dry sugar kelp (seaweed) were conducted using a model substrate – a 2% solution of partially dextrinized starch. The activity of the enzyme preparation was evaluated by the amount of maltose formed in the reaction mixture, a product of deep starch hydrolysis. The enzyme preparation was used in the form of flour, which was obtained from dry seaweed and its 5% water extract. B-amylase activity was defined as the difference between total activity and α -amylase activity. The gluten quality of wheat flour was determined by the spread of a ball of 10 g of gluten after an hour of lying down.

Results. The amyolytic activity of sugar kelp (seaweed) was studied using a model substrate – a 2% solution of partially dextrinized starch and wheat flour with the addition of dry seaweed. The results obtained made it possible to state the amyolytic activity of sugar kelp. The sugar-forming property of flour increases dramatically with the addition of an additive. This makes it possible to consider dry kelp sugar (seaweed) as a full-fledged preparation of active amylases. When dry seaweed is added to flour, the pH value in yeast and unleavened dough does not change, and the pH values are also unchanged in finished products. The studied qualitative and structural-mechanical indicators of control and experimental samples showed small differences, so we can assume that the dough is elastic and well stretchable, has high plasticity indicators. The dough in both control samples and experimental samples is the same.

The addition of flour from dry kelp sugar (seaweed) has sufficient amyolytic activity, which brings it to almost the same level as barley malt. The optimal dose of adding an additive to yeast dough was established, and the effect of the additive on the quality and structural and mechanical parameters of the dough was studied.

Keywords: sugar kelp, seaweed, amyolytic activity, quality indicators, yeast dough.

Кравченко М.Ф., д-р техн. наук, професор
Вітряк О.П., канд. техн. наук, доцент

Державний торговельно-економічний університет (м. Київ, Україна), e-mail: o.vitryak@knute.edu.ua

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГІДРОЛІЗУ ЛАКТОЗИ У МОЛОЧНІЙ СИРОВАТЦІ

UDC 637.146

Kravchenko M.F., Grand PhD of
Engineering Science, Professor
Vitriak O.P., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine, e-mail: o.vitryak@knute.edu.ua

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF ENZYMATIC HYDROLYSIS OF LACTOSE IN MILK WHEY

Мета – обґрунтування параметрів гідролізу лактози у молочній сироватці ферментним препаратом β -галактозидази дріжджового походження з метою подальшого використання у технологіях низьколактозних та безлактозних молочних продуктів.

Методи. Предмет дослідження – підсирна молочна сироватка, ферментний препарат β -галактозидази дріжджового походження «Mayalact-5000». У роботі використано стандартні загальноприйняті та спеціальні методи досліджень, що забезпечили виконання поставлених завдань. Вибір проб і підготовку їх до дослідження здійснювали за ДСТУ ISO 6498:2006. Масову частку в сухих речовин визначали за ДСТУ 8522:2015, золи – за ДСТУ 8522:2015, жиру – за ДСТУ ISO 11870:2007. Титровану кислотність визначали за ДСТУ 8551:2015, активну кислотність – за ДСТУ 8551:2015. Вміст лактози у досліджуваних зразках визначено хроматографічним методом на рідинному хроматографі LC-20 (фірми Shimadzu) з рефрактометричним детектором (колонка HC-75-Ca⁺⁺ (250×4.7мм).

Результати. Обґрунтовано актуальність розроблення нових технологій безлактозних та низьколактозних молочних продуктів на основі вторинної молочної сировини, зокрема підсирної молочної сироватки, для осіб із непереносимістю лактози. Наведено харчову та біологічну цінність молочної сироватки, визначено основні фізико-хімічні показники. Досліджено процес гідролізу лактози у молочній сироватці з використанням ферментного препарату β -галактозидази дріжджового походження «Mayalact-5000». Встановлено, що раціональними параметрами гідролізу лактози у молочній сироватці, що забезпечують необхідний ступінь гідролізу лактози на рівні 80...90% є: доза внесення ферментного препарату «Mayalact-5000» – 0.04...0.06%, температура процесу гідролізу – 40±2°C, тривалість процесу – 180...210 хв.

Ключові слова: непереносимість лактози, вторинна молочна сировина, молочна сироватка, ферментний препарат, гідроліз лактози, ефективність гідролізу лактози

Постановка проблеми. Молочні продукти, як джерело корисних поживних речовин, широко використовуються у раціонах харчування населення країни. Однак для певних груп споживачів, як дітей так і дорослих, молочні продукти можуть бути виключені або зменшені в раціоні через непереносимість лактози - основного вуглеводу молока. У таких осіб спостерігається знижена толерантність до лактози, що пов'язана з відсутністю або недостатністю лактази – ферменту, необхідного для розщеплення лактози в організмі [1].

Останніми роками лактазна недостатність зустрічається майже у всіх вікових групах населення. Основною ознакою та симптомами лактазної недостатності є порушення роботи шлунково-кишкового тракту. Дані ВООЗ свідчать, що у світі близько 70...75% населення не здатні нормально сприймати лактозу молочних продуктів. Серед європейських країн цей показник становить 12...17% [2]. Для України показник поширення лактазної недостатності складає 15...35% населення [3].

На сьогодні одним з підходів до лікувально-профілактичних заходів для осіб із лактазною недостатністю є дієтотерапія, яка передбачає повне або часткове обмеження споживання молочних продуктів. Однак, молоко та молочні продукти представляють собою цінне джерело повноцінних білків, вітамінів і мінеральних речовин, зокрема кальцію. Виключення їх з раціону харчування може призвести до недостатнього надходження есенціальних нутрієнтів і, в результаті, призвести до зменшення рівня працездатності та опірності організму захворюванням та іншим негативним факторам навколишнього середовища [5].

При обмеженому споживанні молочних продуктів, люди із лактазною недостатністю включають до свого раціону ферментовані молочні продукти: сметану, кисломолочний сир, кефір, ряжанку, йогурти, в яких лактоза частково ферментована до молочної кислоти [6]. Проте концентрація лактози в таких продуктах залишається досить високою (1,8...3,5%), що не дозволяє використовувати їх на постійній основі в раціонах харчування людей, які страждають лактазною недостатністю. Саме тому, перспективним напрямом розв'язання цієї проблеми є створення технологій молочних продуктів вільних від лактози або зі зниженим її вмістом [7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Актуальною проблемою для підприємств молокопереробної галузі є ресурсозбереження та залучення потенціалу локальної біодоступної сировини, особливо в умовах падіння обсягів виробництва молока спричинених нестабільною економічною ситуацією через військові дії на території України. Одним з таких напрямків є використання в технології молочних продуктів, зокрема низько- та безлактозних, вторинної молочної сировини (ВМС).

Одним із видів вторинної молочної сировини, що отримують у процесі переробки молока, є молочна сироватка, потенціал якої в Україні на сьогодні реалізується неповністю. Щороку виробляється близько 750 тис. тон молочної сироватки і тільки 35 тис. тон підлягає переробці, а решта утилізується як відходи [8]. Тому домінуючою постає проблема створення нових продуктів з регульованим вуглеводним складом на основі молочної сироватки.

Молочна сироватка, яка є вторинним продуктом виробництва твердих, напівтвердих і м'яких сирів та сичужного казеїну в результаті сквашування молока сичужними ферментами, називається підсирною. З молочною сироватку у процесі виробництва сирів втрачається до 30% білків молока, а також близько 95% молочного цукру лактози [8].

Висока біологічна цінність сироватки обумовлена білковими речовинами, вітамінами, органічними кислотами, мінеральними речовинами. До сироваткових білків відносять: β -лактоглобулін (65%), α -лактоальбумін (25%), сироватковий альбумін (8%), а також пептиди – глікомакропептид, лактоферін, імуноглобулін, фосфоліпопротеїн. Сироватковий білок поступається лише яєчному білку з точки зору біологічної цінності. Сироваткові білки багаті незамінними амінокислотами, зокрема лізином, метіоніном та цистином. Засвоюваність білків в організмі приблизно в 10 разів вище, ніж казеїну [8]. Вміст вільних амінокислот у підсирній сироватці в 4 рази вищий ніж у незбираному молоці. Окрім того, сироваткові білки володіють

гарними функціональними властивостями, такі як розчинність, в'язкість, гелеутворення та емульгування, що є важливим фактором при виробництві молочних продуктів.

У молочній сироватці міститься 0,05...0,45% жиру, залежно від його кількості у вихідній сировині і технології основного продукту. Молочний жир, який міститься у сироватці, дрібнодиспергований, що позитивно впливає на його засвоюваність організмом.

Основним компонентом молочної сироватки є молочний цукор лактоза. Загальний вміст лактози в підсирній сироватці - 44...46 г/л, що становить близько 70% сухих речовин сироватки [8]. Висока концентрація лактози у молочній сироватці обумовлює необхідність зменшення її вмісту для подальшого використання означеної вторинної молочної сировини у виробництві безлактозних та низьколактозних молочних продуктів.

Для зменшення вмісту лактози в молочній сировині використовують різні способи: збільшення масової частки інших компонентів, зокрема і немолочного походження; частковим вилученням лактози методом ультрафільтрації; розчепленням лактози на інші сполуки (лактоулоза, глюкоза, галактоза) шляхом фізичного чи хімічного впливу [9].

Однак найбільш ефективним методом, який широко застосовується в молокопереробній промисловості, є метод ферментативного гідролізу лактози за допомогою ферментних препаратів на її складові – глюкозу та галактозу. Застосування цього методу дозволяє не лише частково, але і, за потреби, повністю вилучити лактозу з молочних продуктів, при цьому майже не впливаючи на інші складові молока [9].

Використання ферментативного гідролізу лактози окрім вирішення проблеми непереносимості лактози, дозволяє зменшити витрати цукру при виробництві молочних продуктів, за рахунок вищого ступеню солодкості продуктів гідролізу лактози – галактози і глюкози.

Питанням застосування ферментних препаратів та розробленням молочних продуктів із регульованим вуглеводним складом останні роки займалися вітчизняні і закордонні науковці: Гніцевич В.А., Гончар Ю.М., Мінорова А.В., Моїсеєва Л.О., Поліщук Г.Є., Романчук І.О., Юдіна Т.І., Неуман М., Lomer M., Misselwitz B. та ін. [8-11]. Їх роботи присвячені дослідженням щодо застосування ферментних препаратів β-галактозидази у технологіях виробництва питного молока, морозива, згущених молочних консервів.

Проте напрями застосування ферментативного гідролізу лактози у вторинній молочній сировині та її використання в технологіях безлактозних та низьколактозних молочних продуктах досліджено не в повному обсязі.

Мета статті – обґрунтування параметрів гідролізу лактози у молочній сироватці ферментним препаратом β-галактозидази дріжджового походження з метою подальшого використання в технологіях низьколактозних та безлактозних молочних продуктів.

Предмет дослідження – підсирна молочна сироватка, ферментний препарат (ФП) β-галактозидази дріжджового походження «Mayalact-5000», активністю 5000 НЛЕ/см³.

Вміст лактози у досліджуваних зразках визначено хроматографічним методом на рідинному хроматографі LC-20 (фірми Shimadzu) з рефрактометричним детектором (колонка HC-75-Sa⁺⁺ (250×4.7мм). Ефективність гідролізу лактози – за [9].

Фізико-хімічні показники зразків встановлено за загальноприйнятими стандартизованими методами досліджень: вміст сухих речовин – за ДСТУ 8522:2015 [12]; золи – за ДСТУ 8522:2015 [12]; жиру – за ДСТУ ISO 11870:2007 [13]; титрованої кислотності – за ДСТУ 8551:2015 [14]; активної кислотності – за ДСТУ 8551:2015 [14].

Виклад основного матеріалу дослідження. Вторинна молочна сировина, зокрема підсирна молочна сироватка, має високу біологічну цінність, і тому доцільним є її використання в технологіях безлактозних і низьколактозних молочних продуктів.

Експериментальні дослідження проведено у декілька етапів. На першому етапі визначено основні фізико-хімічні показники молочної сироватки, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники молочної сироватки

Сировина	Кислотність		Масова частка сухих речовин, %	Масова частка золи, %	Масова частка жиру, %	Масова частка, лактози, %
	Титрована, °Т	Активна, од. рН				
Сироватка молочна підсирна	19±0,3	5,35±0,02	5,11±0,03	0,51±0,04	0,3±0,04	4,4±0,05

На наступному етапі досліджень встановлено вплив технологічних параметрів і доз внесення ферментного препарату на ефективність гідролізу лактози у молочній сироватці.

Завданням досліджень було досягнення ефективності гідролізу лактози на рівні 80...90%, оскільки такого вмісту лактози достатньо для виробництва низьколактозних та безлактозних молочних продуктів, зокрема ферментованих, оскільки в подальшому у виробництві передбачено використання заквашувальних препаратів на основі штамів мікроорганізмів з високою β -галактозидазною активністю.

Рекомендована виробником доза внесення для ФП Mayalact-5000 – 0,1%, температура гідролізу $40\pm 2^\circ\text{C}$. Результати попередніх досліджень засвідчили, що при внесенні дози ферментного препарату 0,4%, ступінь гідролізу лактози становив близько 100%.

Тому, з метою економії дорогих ферментних препаратів, зниження собівартості готових продуктів та встановлення при цьому раціональних параметрів проведення гідролізу лактози у вторинній молочній сировині, використано такі дози внесення ферментів β -галактозидази: 0.02, 0.04, 0.06 і 0.08 %.

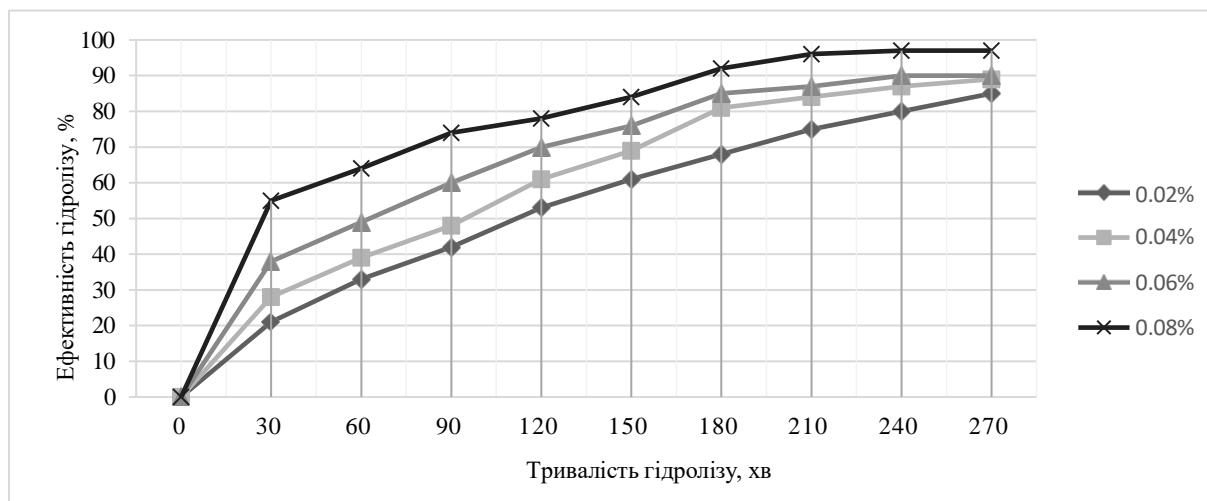


Рисунок 1 – Залежність ступеня гідролізу лактози у молочній сироватці від концентрації ферментного препарату та тривалості

Результати досліджень наведені на рисунку 1 свідчать про те, що при збільшенні тривалості процесу гідролізу лактози і збільшенні концентрації ферментного препарату ступінь гідролізу лактози збільшується.

Так, при внесенні ФП у кількості 0.02% необхідний ступінь гідролізу лактози 80...90% досягається через 240 хв. При внесенні ФП у кількості 0.04% та 0.06% необхідний ступінь гідролізу досягається за 180...210 хв.

Найбільша ефективність гідролізу лактози спостерігається при внесенні дози ферментного препарату 0.08%, проте збільшення кількості дорогого ферментного препарату призведе до збільшення вартості готових молочних продуктів.

Досліджено вплив температури гідролізу лактози та тривалості на лактазну активність ферментного препарату «Mayalact-5000» у молочній сироватці. Результати дослідження наведено на рисунку 2.

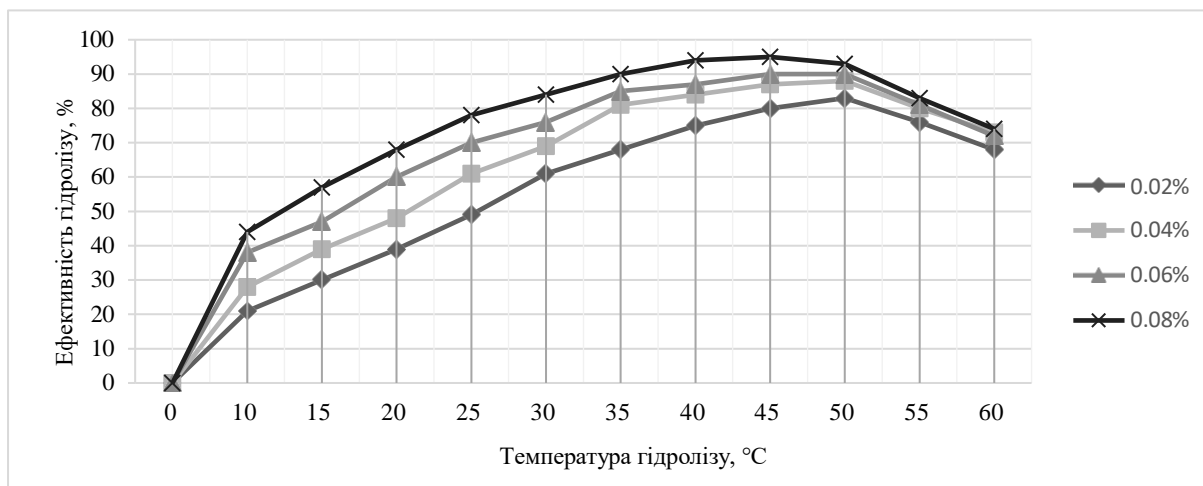


Рисунок 2 – Залежність ефективності гідролізу лактози у молочній сироватці від температури процесу

Аналіз результатів свідчить про те, що при різних дозах ФП необхідний ступінь гідролізу лактози досягається в інтервалі температур 35...45°C при тривалості процесу 180...210 хвилин. Більш низькі та високі температури інгібують ферментний препарат. Значне зниження активності ФП спостерігали при інтервалі температур 50...60°C, що пов'язано з його частковою тепловою денатурацією.

Ефективність гідролізу лактози при температурах 35°C та 45°C майже не відрізняється, тому для подальших досліджень обрано середнє значення температури 40±2°C, що підтверджує рекомендацію виробника ФП щодо температури процесу гідролізу лактози.

Встановлено раціональні параметри процесу гідролізу лактози: доза ФП – 0.04...0.06%, температура гідролізу – 40±2°C, тривалість процесу – 180...210 хвилин, ступінь гідролізу лактози – 80...90%.

Висновки. За результатами проведених досліджень визначено, що для досягнення ступеню гідролізу лактози у підсирній молочній сироватці на рівні 80...90% концентрація ферментного препарату «Mayalact-5000» становить 0.04...0.06%, температура процесу гідролізу – 40±2°C, тривалість процесу – 180...210 хв.

Подальшими дослідженнями передбачно використання гідролізованої молочної сироватки у технології низьколактозних та безлактозних молочних продуктів для харчування осіб, які страждають на лактазну недостатність.

Список літератури

1. Silanikove N., Leitner G., Merin U. The Interrelationships between Lactose Intolerance and the Modern Dairy Industry: *Global Perspectives in Evolutional and Historical Backgrounds. Nutrients*. 2015. 7 (9). P. 7312–7331. <https://doi.org/10.3390/nu7095340>.
2. Heyman M. B. Lactose Intolerance in Infants, Children, and Adolescents. *Pediatrics*. 2006. 118 (3). P. 1279–1286. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-1721>.
3. Юдіна Т., Серенко А. Формування вітчизняного ринку безлактозних і низьколактозних молочних продуктів. *Товари і ринки*. 2021. № 2. С. 33–43. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(38\)03](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(38)03).
4. Lomer M. C. E., Parkes G. C., Sanderson J. D. Lactosi intolerance in children hractice-myths and realities. *Alimentary pharmacology & therapeutics*. 2008. №2. P. 93-103. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2007.03557x>.

5. Corgneau M., Scher J., Ritie Pertusa L., Le DTL., Petit J., Nikolova Y., Gaiani C. Recent advances on lactose intolerance: tolerance thresholds and currently available answers. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2017. 57 (15). P. 3344-3356. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1123671>.
6. Misselwitz B., Pohl D., Fruhauf H., Fried M., Vavricka S. R., Fox M. Lactose malabsorption and intolerance: pathogenesis, diagnosis and treatment. *United European gastroenterology journal*. 2013. 1 (3). P. 151-159. <https://doi.org/10.1177/2050640613484463>.
7. Дмитриков В. П., Горбенко О. В., Антонов А. В. Особливості переробки вторинної молочної сировини: екологічні інновації. *Екологія плюс*. 2019. Вип. 1 (70). С.7-11
8. Гніщевич В., Юдіна Т., Гончар Ю. Технологія напівфабрикату на основі низьколактозної молочної сироватки та м'якоті гарбуза. *Товари і ринки*. 2018. №4. С. 105–114. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018\(28\)10](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018(28)10).
9. Романчук І. О., Юдіна Т. І., Мінорова А. В., Моїсєєва Л. О., Серенко А. А., Бабко Д. Є. Ефективність гідролізу лактози у вторинній молочній сировині. *Продовольчі ресурси*. 2021. № 17. С. 129-136. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-13>.
10. Мінорова А. В., Даниленко С. Г., Рудакова Т. В. Біотехнологічні аспекти застосування штамів з β -галактозидазною активністю у виробництві ферментованих молочних продуктів. *Продовольчі ресурси*. 2021. №9 (16). С. 117–134. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-16-12>.
11. Юдіна Т., Серенко А. Технологія низьколактозних молочних сумішей для йогуртів. *Товари і ринки*. 2022. № 3. С. 108-116. [https://doi.org/10.31617/2.2022\(43\)09](https://doi.org/10.31617/2.2022(43)09).
12. ДСТУ 8552:2015. Молоко та молочні продукти. Методи визначання вологи та сухої речовини. Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2015. 17 с.
13. ДСТУ ISO 11870:2007. Молоко і молочні продукти. Визначення масової частки жиру. Загальні рекомендації щодо використання методів із застосуванням жиромірів. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 13 с.
14. ДСТУ 8551:2015. Консерви молочні згущені та продукти молочні сухі. Визначання кислотності потенціометричним та титрометричним методами. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 20 с.

References

1. Silanikove, N., Leitner, G., Merin, U. (2015). The Interrelationships between Lactose Intolerance and the Modern Dairy Industry. *Global Perspectives in Evolutional and Historical Backgrounds Nutrients*, 7 (9), 7312-7331. <https://doi.org/10.3390/nu7095340>.
2. Heyman, M. (2006). Lactose Intolerance in Infants, Children, and Adolescents. *Pediatrics*, 118 (3), 1279-1286. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-1721>.
3. Judina, T., Serenko, A. (2021). *Formuvannja vitchyznjanogo rynku bezlaktoznych i nyz'kolaktoznych molochnyh produktiv* [Formation of the domestic market of lactosefree and low-lactose dairy products], *Tovary i rynky* [Commodities and Markets], 2 (38), 33-43. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(38\)03](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(38)03).
4. Lomer, M. C. E., Parkes, G. C., Sanderson, J. D. (2008). Lactose intolerance in clinical practice—myths and realities. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 2, 93–103. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2007.03557x>.
5. Corgneau, M., Scher, J., Ritie-Pertusa, L., Le, DTL, Petit, J., Nikolova, Y., Banon, S., Gaiani, C. (2017). Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57 (15), 3344-3356. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1123671>.
6. Misselwitz, B., Pohl, D., Frühauf, H., Fried, M., Vavricka, S. R., Fox, M. (2013). Lactose malabsorption and intolerance: pathogenesis, diagnosis and treatment, *United European gastroenterology journal*, 1 (3), 151–159. <https://doi.org/10.1177/2050640613484463>.

7. Dmytrykov, V. P., Horbenko, O. V., Antonov, A. V. (2019). *Osoblyvosti pererobky vtorynnoi molochnoi syrovyny: ekolohichni innovatsii* [Peculiarities of processing of secondary dairy raw materials: ecological innovations], *Ekolohiia plus* [Ecology is a plus], 1 (70), 7-11.
8. Gnitsevich, V., Yudina, T., Gonchar, Y. (2018). *Tekhnolohiya napivfabrykatu na osnovi nyzkolaktoznoi molochnoi syrovatky ta myakoti harbuza* [Semi-finished product technology based on low-lactose whey and pumpkin pulp], *Tovary i rynky* [Goods and markets], 4, 105–114. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018\(28\)10](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018(28)10).
9. Romanchuk, I. O., Yudina, T. I., Minorova, A. V., Moiseieva, L. O., Serenko, A. A., Babko, D. Ie. (2021). *Yefektyvnist hidrolizu laktozy u vtorynnoi molochnoi syrovyni* [Efficiency of lactose hydrolysis in secondary dairy raw materials], *Prodovolchi resursy* [Food resources], 17, 129-136. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-13>.
10. Minorova, A., Danylenko, S., Rudakova, T., Krushelnytska, N., Moiseeva, L., & Narizhnyy, S. (2021). *Biotekhnolohichni aspekty zastosuvannia shtamiv z β -halaktozydaznoiu aktyvnistiu u vyrobnytstvi fermentovanykh molochnykh produktiv* [Biotechnological aspects of application of strains with β -galactosidase activity in the production of fermented dairy products], *Prodovolchi resursy* [Food resources], 9 (16), 117–134. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-16-12>.
11. Judina, T., Serenko, A. (2021). *Tekhnolohiia nyzkolaktoznykh molochnykh sumishei dlia yohurtiv* [Technology of low-lactose milk mixtures for yogurts], *Tovary i rynky* [Commodities and Markets], 3 (38), 33-43. [https://doi.org/10.31617/2.2022\(43\)09](https://doi.org/10.31617/2.2022(43)09).
12. Moloko ta molochni produkty. Metody vyznachannja vology ta suhoi' rechovyny [Milk and dairy products. Methods for determining moisture and dry matter]. (2015). DSTU 8552:2015. Kyi'v: DP "UkrNDNC".
13. Moloko i molochni produkty. Vyznachennja masovoi' chastky zhyru. Zagal'ni rekomendacii' shhodo vykorystannja metodiv iz zastosuvannjam zhyromiriv [Milk and dairy products. Determination of the mass fraction of fat. General recommendations for the use of methods using hydrometers]. (2011). DSTU ISO 11870:2007. Kyi'v: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
14. Konservy molochni zgushheni ta produkty molochni suhi. Vyznachannja kyslotnosti potentsiometrychnym ta tytrometrychnym metodamy [Canned condensed milk and dry milk products. Determination of acidity by potentiometric and titrometric methods]. (2015). DSTU 8551:2015. Kyi'v: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.

Objective. *Justification of lactose hydrolysis parameters in milk whey using the enzymatic preparation of yeast-derived β -galactosidase for further utilization in the technologies of low-lactose and lactose-free dairy products*

Methods. *The subject of the research is milk whey obtained during cheese production. Standard generally accepted and special research methods were employed in the work to ensure the accomplishment of the set objectives. Sample selection and preparation for analysis were carried out in accordance with DSTU ISO 6498:2006. The mass fraction of dry matter was determined according to DSTU 8522:2015, ash content – according to DSTU 8522:2015, fat content – according to DSTU ISO 11870:2007. Titratable acidity was determined according to DSTU 8551:2015, active acidity – according to DSTU 8551:2015. The lactose content in the investigated samples was determined by chromatographic method using liquid chromatography LC-20 (Shimadzu) with refractometric detector (column HC-75-Ca⁺⁺ (250×4.7mm)).*

Results. *The relevance of developing new lactose-free and low-lactose dairy products based on secondary dairy raw materials, particularly whey, for individuals with lactose intolerance, has been determined. The nutritional and biological value of whey has been presented, and the main physico-chemical indicators have been identified. The lactose hydrolysis process in whey using the yeast-derived enzyme preparation 'Mayalact-5000' has been investigated. It has been established that the rational parameters for lactose hydrolysis in whey, ensuring the required degree of lactose*

hydrolysis of 80...90%, are as follows: the dosage of the enzyme preparation 'Mayalact-5000' is 0.04...0.06%, the temperature of the hydrolysis process is $40\pm 2^{\circ}\text{C}$, and the duration of the process is 180...210 minutes.

Keywords: *lactose intolerance, secondary dairy raw materials, milk whey, enzyme preparation, lactose hydrolysis, efficiency of lactose hydrolysis.*

Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент
Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент
Мороз В. О., здобувач ОС магістра
Школа К. В., здобувач ОС бакалавра
Гоманкова С. Ю., здобувач ОС бакалавра

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК З ПЛОДІВ ШОВКОВИЦІ НА ЖИРОВИЙ КОМПОНЕНТ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ

UDK 664.6(045)

Goriainova Iu. A., PhD in Engineering sciences, Associate Professor
Simakova O. O., PhD in Engineering sciences, Associate Professor
Moroz V. O., a graduate of a master's degree
Shkola K. V., a graduate of a bachelor's degree
Homankova S. Yu., a graduate of a bachelor's degree

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

STUDY OF THE INFLUENCE OF ADDITIVES FROM MULBERRY FRUITS ON THE FAT COMPONENT OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS

Мета. Дослідити вплив добавок порошоків з плодів чорної та білої шовковиці на стан жирового компоненту борошняних кондитерських виробів.

Методи. Хімічний склад чорної та білої шовковиці визначали за стандартними методиками. Вміст деяких металів визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії [1,2]. Оптичну густину екстрактів з плодів чорної та білої шовковиці визначали на спектрофотометрі Helios-γ (довжина хвилі 417 нм, робоча довжина кювети - 10 мм). Для визначення масової частки усіх флавонолів (у %) за рутином (у перерахунку на сухий залишок) використовували розрахунковий метод. Вивчення антиоксидантної дії порошоків плодів чорної та білої шовковиці проводили прискореним методом з використанням стандартної методики, яка ґрунтується на вимірі величини пероксидного числа (ПЧ).

Результати. В результаті проведених досліджень встановлено, що багатий хімічний склад досліджених порошоків із сухих плодів чорної та білої шовковиці, що районуються у Донецькому регіоні, дозволяє їх розглядати як перспективне джерело природних антиоксидантів. Це уможливило їх подальше використання як добавок, наприклад, у процесі виготовлення продуктів, що містять жир, для уповільнення в них процесів окиснення жирового компонента. Після окиснення зразків жирів (рослинна олія та маргарин), що досліджувалися, протягом 15 хвилин при температурі 160⁰ С спостерігається зменшення пероксидних чисел порівняно з контрольними зразками у всіх випадках у середньому на 20-30%. Добавки чорної та білої шовковиці також стримують процеси окиснення в жирах, які зберігалися в умовах побутового холодильника протягом 30 діб. Кількість пероксидних

сполук у цих умовах зменшується на 20-40%. Також встановлено, що кількість пероксидних сполук у жирах з добавками двох порошків плодів чорної та білої шовковиці одночасно після їх зберігання в цих самих умовах зменшується на 10-40%, практично так, як це спостерігалось у випадку з окремими добавками порошків чорної та білої шовковиці.

Ключові слова: чорна шовковиця, біла шовковиця, порошки, жири, антиоксиданти, окиснення, пероксидне число.

Постановка проблеми. Використання різних рослинних добавок природного походження в технології борошняних кондитерських виробів на даний час є дуже актуальним. Це дозволяє поліпшити технологічні властивості сировини і збагатити готові вироби функціональними компонентами, які підвищують харчову цінність продукту.

Актуальною проблемою в сучасній технології харчових продуктів є збереження якісних показників жирів та продуктів, що містять жири. Перспективним у цьому напрямі є використання різних стабілізаторів окиснення жирів та олій – антиоксидантів. Серед них найбільшу увагу привертають так звані біоантиоксиданти – природні нетоксичні сполуки, що синтезуються рослинною клітиною. Велика кількість рослин вже досліджена з цієї точки зору, виявлено основні класи природних речовин, що відповідають за антиоксидантну дію рослинної сировини, та знайдено багато рослинних препаратів із високою антиоксидантною дією.

Цікавим об'єктом для дослідження у цьому напрямі є, на наш погляд, плоди шовковиці чи шовковичного дерева. У Донецькому регіоні виростають різні види, їх вирощують як плодови та як декоративні рослини. Шовковиця біла (*Morus alba*) культивується також заради листя, яке йде на корм гусениць тутового шовкопряда. Шовковиця чорна (*Morus nigra*) культивується тільки як плодова рослина.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Багато рослин володіють антиоксидантними властивостями, тому їх додавання покращує якість харчових жирів та продуктів, що вміщують жири. Проблемою стабілізації харчових жирів та подовження термінів їх зберігання займалися і досі продовжують багато наукових шкіл та вчених. Серед них Лисюк Г.М., Самохвалова О.В., Чуйко А.М. (ХДУХТ), Сирохман І.В., Лозова Т.М. (Львівський торговельно-економічний університет), Дуленко Л.В., Сімакова О.О. (ДонНУЕТ) та інші.

Наприклад, харківські вчені вивчають можливість використання порошків з різних фракцій виноградних вичавків та екстракту з них як антиоксидантів для жирів, що застосовуються на підприємствах харчової промисловості та ресторанного господарства. Проведений ними раніше аналіз хімічного складу порошків із виноградних вичавків показав, що в них максимально зберігаються в нативному вигляді всі біологічно активні речовини та вітамінні комплекси, у тому числі відповідальні за антиоксидантну активність. Вчені довели, що для сповільнення процесу окиснення жирів і збільшення термінів їх зберігання, раціональним є попереднє введення в ці жири порошків з виноградних вичавків в кількості 5 % до маси жиру і екстракту з вичавків винограду у кількості 0,5 % (на сухі речовини) до маси жиру. Такі концентрації добавок не погіршують органолептичні та фізико-хімічні показники якості вихідної продукції та можуть подовжити термін зберігання, зокрема, вершкового масла на 30-80 % [3].

Сумісні дослідження вчених з Харкова та Одеси присвячені антиоксидантній активності екстрактів з рослин українського походження та їх впливу на окисну стійкість соняшникової олії [4]. Серед потенційних джерел такої сировини дослідниками розглядалися листя та коріння трав, кора та листя ягідних культур. Ними було досліджено 20 рослин, серед яких калина, малина, горобина, ожина, рукола, кропива та інші. Метою їх досліджень було отримання порівняльних даних щодо антиоксидантної активності водно-спиртових екстрактів рослин українського походження, а також дослідження їх впливу на стабільність соняшникової олії під час її термічної обробки.

Професори Львівського торговельно-економічного університету Сирохман І.В. та Лозова Т. М. разом з колегами багато років займаються питаннями антиоксидантної активності наступних добавок: корінь солодки, корінь імбиру, листя шавлії, листя смородини, листя малини, корінь алтею, плоди глоду. Ними експериментально доведено, що ці добавки у вигляді екстрактів мають антиоксидантні та антимікробні властивості завдяки своєму хімічному складу і концентрації активних речовин [5, 6, 7].

На кафедрі технологій в ресторанному господарстві, готельно-ресторанної справи та підприємництва Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського ведуться дослідження стосовно використання як антиоксидантів харчових жирів добавок амаранту багряного, чорноплідної горобини, звичайної горобини [8, 9, 10]. Доведено, що ці добавки позитивно впливають на якість жиру.

Отже, проблема підвищення стійкості жирів, подовшення їх термінів зберігання в борошняних кондитерських виробках залишається актуальною та вирішується в багатьох напрямках. Особливо перспективним виглядає використання рослинної сировини як джерела природних антиоксидантів.

Мета статті – дослідити вплив добавок порошків з сухих плодів чорної та білої шовковиці на стан жирового компонента борошняних кондитерських виробів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Нами було встановлено хімічний склад порошків, які виготовлені із висушених плодів двох вище зазначених видів шовковиці, та вміст деяких металів в них. Дані наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 – Хімічний склад порошків плодів шовковиці

Зразок	Загальна волога, %	Зола, %	Вітамін С мг/100г	Каротин, мкг/г	Прості вуглеводи, %	Складні вуглеводи, %	Клітковина, %
Шовковиця біла	12,75± 0,51	6,28± 0,25	80,08± 3,20	0,39± 0,02	36,33± 1,45	36,68± 1,47	8,42± 0,34
Шовковиця чорна	13,56± 5,42	7,18± 0,29	170,33± 6,81	0,39± 0,02	36,15± 1,45	37,53± 1,50	9,82± 0,39

Таблиця 2 - Вміст деяких металів у плодах шовковиці

Зразок	Вміст, мг/100 г сухої речовини						
	К	Na	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn
Шовковиця біла	2179,1± 65,4	156,7± 4,7	262,5± 7,9	356,8± 10,7	79,7± 2,4	0,9± 0,03	2,2± 0,01
Шовковиця чорна	4045,7± 121,4	173,2± 5,2	291,3± 8,7	395,8± 11,9	107,1± 3,2	1,2± 0,03	2,6± 0,01

Наші дослідження та аналіз літературних даних показали, що плоди білої та чорної шовковиці багаті на мінеральні речовини, вітаміни, клітковину, органічні кислоти, а також у них містяться антиоксиданти, а саме біофлавоноїди, які за своєю природою добре розчиняються у воді та етиловому спирті.

Для визначення сумарної кількості флавоноїдних сполук нами були проведені спектрофотометричні дослідження водних та етанольних екстрактів із сухих плодів чорної та білої шовковиці, що подрібнені в порошок.

Екстракти готували у співвідношенні порошок з сухих плодів шовковиці – розчинник 1:10 при температурі 20⁰ С. Процес екстракції відбувався 10, 20 та 30 хвилин. Потім

вимірювали оптичну густину екстрактів за допомогою спектрофотометру Helios-γ (довжина хвилі 417 нм, робоча довжина кювети - 10 мм). Масову частку усіх флавонолів (у %) за рутином (у перерахунку на сухий залишок) розраховували за формулою (1):

$$\text{Сума флавонолів, \%} = \frac{D \cdot 25 \cdot V \cdot 100}{a \cdot \varepsilon \cdot 2 \cdot (100 - \omega)}, \text{ де} \quad (1)$$

D – оптична густина досліджуваного екстракту, ε – молярний коефіцієнт поглинання продукту взаємодії рутину з водним розчином AlCl_3 , $\text{дм}^3/\text{моль} \cdot \text{см}$; a – наважка сировини, г; V – загальний об'єм екстракту, що досліджується, см^3 ; 25 - об'єм мірної колби, см^3 ; 2 – об'єм аліквоти, см^3 ; ω – вологість рослинної сировини, %.

Результати вимірювань та розрахунків свідчать про те, що у випадку зі зразками чорної шовковиці кількість флавоноїдних сполук після 20 хвилин екстракції зростає на 40% порівняно з кількістю цих сполук після 10 хвилин екстракції. Аналогічна залежність спостерігається і у випадку з білою шовковицею – на 30%. Для обох видів шовковиці кількість флавоноїдних сполук через 30 хвилин екстракції незначно збільшується. Таким чином, виявлений багатий хімічний склад порошоків, які отримані із сухих плодів чорної та білої шовковиці, що росте у Донецькому регіоні, дозволяє їх розглядати як перспективне джерело природних антиоксидантів.

Також нами було визначено антиоксидантну активність дослідних порошоків шовковиці по відношенню до двох жирів, які використовуються в технології кондитерських борошняних виробів, – рослинної олії та маргарину - за різних умов. Вивчення антиоксидантної дії порошоків проводили прискореним методом з використанням стандартної методики, яка ґрунтується на визначенні величини пероксидного числа (умовна величина, яка еквівалентна кількості йоду, що вивільняється пробою з калій йодиду із зазначеної одиниці маси жиру пероксидними сполуками, які утворюються в ньому при окисненні).

Отримані в ході експерименту дані свідчать про те, що після вистоювання зразків жиру протягом 20 хвилин у присутності добавок чорної та білої шовковиці у кількості 1% (від маси жиру) при кімнатній температурі значення пероксидних чисел незначно зростають у порівнянні з контрольними зразками – рослинною олією і маргарином без добавок шовковиці. Тобто за цих умов рослинні добавки не виявляють антиоксидантної активності. Після окиснення зразків жирів протягом 15 хвилин при температурі 160°C спостерігається зменшення пероксидних чисел порівняно з контрольними зразками у всіх випадках у середньому на 20-30%.

Також нами були проведені дослідження антиоксидантної активності чорної та білої шовковиці щодо жирів при зберіганні їх в умовах побутового холодильника протягом 1 місяця. Встановлено, що ці добавки також стримують процеси окиснення в жирах, кількість пероксидних сполук у цих умовах зменшується на 20-40%.

Результати, які отримані в ході експериментів щодо дослідження впливу порошоків плодів чорної та білої шовковиці на жири, показали, що завдяки вмісту в їх складі речовин поліфенольної природи додавання цих рослинних порошоків здатне стримувати окиснювальні процеси в жирах. Це дозволяє припустити доцільність їх використання в технології борошняних кондитерських виробів як перспективну антиоксидантну сировину.

При дослідженні антиоксидантної активності порошоків плодів шовковиці доцільно було перевірити прояв їхнього спільного впливу на процеси окиснення в жирах.

Відомо, що за впливом на окиснювальні процеси всі можливі варіанти гальмування сумішами інгібіторів можна звести до наступних трьох:

- синергізм, при якому дія суміші більша, ніж сума впливів окремих компонентів;
- антагонізм, у якому інгібітори перешкоджають одне одному;
- адитивна дія, при якій гальмуючий ефект дорівнює сумі ефектів кожного з компонентів, що гальмують.

Вивчення антиоксидантної дії порошків плодів чорної та білої шовковиці також проводили прискореним методом з використанням стандартної методики, яка ґрунтується на визначенні величини пероксидного числа. Порошки з плодів чорної та білої шовковиці додавали у кількості 0,5% кожного до маси жирів. Дослідні зразки жирів зберігали в умовах побутового холодильника за температури 5⁰ С протягом 30 діб.

Отримані експериментальні дані (рис. 1.) свідчать про те, що кількість пероксидних сполук у жирах з добавками одночасно двох порошків плодів чорної та білої шовковиці після їх зберігання у зазначених умовах зменшується на 10-40%, практично так само, як це спостерігалось у випадку з добавками зазначених порошків, але окремо.

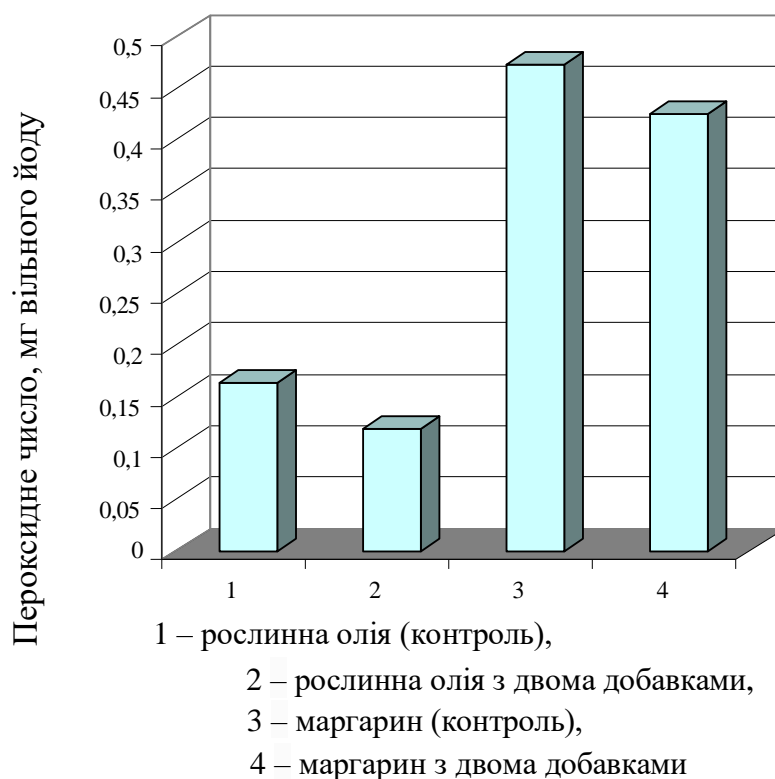


Рисунок 1 – Зміна пероксидних чисел зразків жирів

Висновки. Таким чином, можна стверджувати, що одночасне додавання двох добавок порошків із плодів чорної та білої шовковиці до жирів не виявляють ефекту синергізму. Однак кожна з добавок має досить потужний антиоксидантний комплекс, який дозволяє використовувати порошки з плодів чорної та білої шовковиці у технології борошняних кондитерських виробів для зменшення швидкості окисних процесів в жирах.

Список літератури

1. Спосіб визначення важких металів в продуктах харчування: пат. 63519 Україна: МПК (2011.01), G01N 29/00 G01N 33/00. Заявл. 12.02.07; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.
2. Спосіб визначення вмісту редуруючих цукрів у рослинному матеріалі: пат. 121789 Україна: МПК (2017.01), A01G 7/00 G01N 9/36. Заявл. 21.07.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23.
3. Чуйко М.М., Чуйко А.М. Ефективність стабілізації харчових жирів та можливість подовження їх термінів зберігання. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. №1 (305). С. 218-224. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-305-1-218-223>.

4. Демидова А., Аксьонова О., Євлаш В., Ткаченко О., Каменєва Н. Антиоксидантна активність екстрактів з рослин українського походження та їх вплив на окисну стійкість соняшникової олії. *Харчова наука та технологія*. 2022. 16 (3). <https://doi.org/10.15673/fst.v16i3.2514>.

5. Лозова Т. М., Сирохман І. В. Наукове обґрунтування поліпшення споживних властивостей борошняних кондитерських виробів з використанням природної нетрадиційної сировини: монографія. Львів: ЛТЕУ, 2017. 328 с.

6. Лозова Т. М. Антиоксидантні властивості інноваційних інгредієнтів для харчових продуктів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2016. Вип. 17. С. 79-83. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vlteu_2016_17_15.

7. Лозова Т. М. Встановлення впливу нетрадиційної природної сировини на процеси окислення в кондитерському жирі. *Актуальні наукові дослідження у світі*. 2017. Вип. 6 (26). Ч. 1. С. 52-57.

8. Сімакова О. О., Никифоров Р.П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна з заданими властивостями: монографія. Кривий Ріг: ДонНУЕТ. 2018. 146 с.

9. Simakova O., Korenets Yu., Yudina T., Nazarenko I., Goriainova Iu. Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2. Is. 11 (92). P. 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127173>.

10. Горяїнова Ю. А., Сімакова О. О., Кучма А. Ю., Мороз В. О. Технологія виробів із пшеничного борошна лікувально-профілактичного призначення із використанням шовковиці. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2020. Вип. 2 (41). С. 12–18.

References

1. *Sposib vyznachennia vazhkykh metaliv v produktakh kharchuvannia* [The method of determination of heavy metals in food products]. (2011). Patent UA no. 63519.

2. *Sposib vyznachennia vmistu redukuiuchykh tsukriv u roslynnomu materiali* [The method of determining the content of reducing sugars in plant material]. (2017). Patent UA no. 121789.

3. Chuiko, M. M., Chuiko, A. M. (2022). *Efektivnist stabilizatsii kharchovykh zhyriv ta mozhyvist podovzhennia yikh terminiv zberihannia* [Effectiveness of food fat stabilization and the possibility of extending their shelf life], *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu* [Bulletin of the Khmelnytskyi National University], 1, pp. 218-224. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-305-1-218-223>.

4. Demydova, A., Aksonova O., Yevlash, V., Tkachenko, O., Kameneva, N. (2022). *Antyoksydantna aktyvnist ekstraktiv z roslyn ukrainskoho pokhodzhennia ta yikh vplyv na okysnu stiikist soniashnykovoii olii*. [Antioxidant activity of extracts from plants of Ukrainian origin and their effect on the oxidative stability of sunflower oil], *Kharchova nauka ta tekhnolohiia* [Food Science and Technology], 16 (3). <https://doi.org/10.15673/fst.v16i3.2514>.

5. Lozova, T. M., Syrokhman, I. V. (2017). *Naukove obgruntuvannia polipshennia spozhyvnykh vlastyvostei boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv z vykorystanniam pryrodnoi netradytsiinoi syrovyny* [Scientific substantiation of improvement of consumer properties of flour confectionery products with use of natural non-traditional raw materials]. Lviv, LTEU Publ., 328 p.

6. Lozova, T. M. (2016). *Antyoksydantni vlastyvosti innovatsiinykh inhredientiv dlia kharchovykh produktiv* [Antioxidant properties of innovative ingredients for food products]. *Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of the Lviv University of Trade and Economics. Technical sciences], 17, pp. 79–83. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vlteu_2016_17_15.

7. Lozova, T. M. (2017). *Vstanovlennia vplyvu netradytsiinoi pryrodnoi syrovyny na protsesy okyslennia v kondyterskomu zhyri* [Establishing the impact of non-traditional natural raw materials on oxidation processes in confectionery fat]. *Aktualni naukovi doslidzhennia u sviti* [Current scientific studies in the modern world], 6 (26), pp. 52–57.

8. Simakova, O. O., Nykyforov, R. P. (2018). *Rozrobka novitnikh tekhnolohii vyrobiv z boroshna s zadanymy vlastyvostiamy: monografIya* [Development of the newest technologies of products from flour with the set properties: monograph]. Kryvyi Rih: DonNUET [Kryvyi Rih: DonNUET]. 146 p.

9. 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*. 2, 11 (92), pp. 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127173>.

10. Goryaynova, Yu. A., Simakova, O. O., Kuchma, A. Yu., Moroz, V. O. (2020). *Tehnologiya virobiv iz pshenichnogo boroshna likuvalno-profilaktichnogo priznachennya iz vikoristannyam shovkovitsi* [Technology of products from wheat flour of medical and preventive appointment with use of mulberry]. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovikh virobnitstv* [Food production equipment and technologies], 2 (41), pp. 12–18.

Purpose. *To investigate the influence of additives of black and white mulberry fruit powders on the state of the fat component of flour confectionery products.*

Methods. *The chemical composition of black and white mulberry was determined according to standard methods. The content of some metals was determined by atomic absorption spectroscopy. The optical density of extracts from black and white mulberry fruits was determined on a Helios-γ spectrophotometer (wavelength 417 nm, working length of the cuvette - 10 mm). The calculation method was used to determine the mass fraction of all flavonols (in %) according to rutin (in terms of dry residue). The study of the antioxidant effect of black and white mulberry fruit powders was carried out by an accelerated method using a standard method based on the measurement of the value of the peroxide number (PN).*

Results. *As a result of the conducted research, it was established that the rich chemical composition of the investigated powders from the dry fruits of black and white mulberries, which are distributed in the Donetsk region, allows them to be considered as a promising source of natural antioxidants. This enables their further use as additives, for example, in the process of manufacturing products containing fat, to slow down the oxidation of the fat component in them. After oxidation of the studied fat samples (vegetable oil and margarine) for 15 minutes at a temperature of 1600 C, a decrease in peroxide values was observed in comparison with the control samples in all cases by an average of 20-30%. Additions of black and white mulberry also inhibit oxidation processes in fats that have been stored in a household refrigerator for 30 days. Under these conditions, the amount of peroxide compounds decreases by 20-40%. It was also established that the amount of peroxide compounds in fats with the addition of two powders of black and white mulberry fruits at the same time after their storage in the same conditions decreases by 10-40%, almost as it was observed in the case of separate additives of black and white mulberry powders.*

Key words: *black mulberry, white mulberry, powders, fats, antioxidants, oxidation, peroxide number.*

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2023-47-2-63-70

UDC (641.546.4:664.64)-048.78:681.51(045)

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences

Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences

Goncharenko V. A., PhD in Engineering sciences

Shkilna Yu. S., a graduate of a master's degree

Pronkin Yu. V., a graduate of a bachelor degree

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

IMPROVEMENT OF A SPIRAL QUICK FREEZER FOR FREEZING SEMI-FINISHED DOUGH PRODUCTS ON THE BASIS OF AUTOMATION

УДК (641.546.4:664.64)-048.78:681.51(045)

Омельченко О. В., канд. техн. наук

Цвіркун Л. О., канд. пед. наук

Гончаренко В. А., канд. техн. наук

Шкільна Ю. С., здобувач ОС магістра

Пронькін Ю. В., здобувач ОС бакалавра

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

УДОСКОНАЛЕННЯ СПРАЛЬНОГО ШВИДКОМОРОЗИЛЬНОГО АПАРАТА ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ ІЗ ТІСТА НА ОСНОВІ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Objective. *The purpose of the article is improvement of a spiral quick freezer for freezing semi-finished dough products on the basis of automation.*

Methods. *In this work, to improve the spiral quick freezer for freezing semi-finished dough products, methods and means of automating technological processes in food production were used.*

Results. *It is noted that the modern development of the global catering industry is characterized by the introduction of technology for freezing semi-finished dough products. The technology makes it possible to provide consumers with a wide range of products and expand the sales network by creating mini-bakeries with an unfinished technological cycle. To date, there are three main ways of freezing bakery and confectionery products: freezing a semi-finished product (raw materials are frozen), freezing a partially finished semi-finished product and freezing a finished product. The parametric scheme of the process of freezing semi-finished products from dough is considered. The main parameters influencing the process of freezing products are given. The main (input) parameters that affect the process of freezing semi-finished dough products include: dough humidity, dough temperature after kneading, dough fermentation time, flour quality, etc. The initial parameters are temperature, product weight, obtaining a stable product quality at the output. Disturbing influences*

are the ambient temperature, relative air humidity, etc. Corrective actions include control of the temperature and speed of the cooling air at the surface of the product, the speed of the conveyor belt. An improved block diagram of the process of freezing semi-finished products from dough based on automation tools is proposed. The automated complex makes it possible to form optimal values of control actions to improve the quality of the initial product with minimal energy consumption. The system provides for the introduction of corrective actions, namely: the temperature and speed of the cooling air, the speed of the conveyor belt to maintain a stable temperature for freezing semi-finished dough products. Control and measuring tools provide prediction of potentially expected temperature deviations in three stages: the temperature of the object coming from the production line, the temperature in the quick freezer, the temperature of the object at the outlet of the quick freezer to form corrective actions. Proper freezing will ensure a stable quality of the finished product, exclude a small specific volume, a dense internal structure, and compaction of individual layers.

Key words: *spiral freezer, freezing of semi-finished products, automation, fast freezing, technological line, control and measuring means, dough.*

Formulation of the problem. Bread is one of the main goods that is in the consumer basket of every person. Bread products are essential goods that are in constant demand and have a diverse assortment. The production of bakery products, as one of the most important products in the daily human diet, is a complex hardware and technological process. Manufacturing technology is constantly being improved in order to improve the quality of the finished product, shelf life and sale [1, 2]. In the production process of dough products, one of the main operations is the cooling of bakery products or the freezing of dough pieces.

Today, technologies for freezing semi-finished products at different stages of readiness are used to expand the range and provide the consumer with always fresh bakery products. Small businesses are adopting intensive technologies that allow them to become more agile to ever-changing market conditions. Thanks to these technologies, such productions can compete on an equal footing with large manufacturers of bakery products.

The technology for the production of bakery products from frozen semi-finished products is relatively new. This technology allows to reduce the cost of delivery of finished products, due to the increased shelf life of the frozen product. Accordingly, the improvement of the process of freezing semi-finished dough products is relevant and timely.

Analysis of recent research and publications. To date, the leading manufacturer of bakery and confectionery products in Ukraine is the Kyivklib enterprise. The enterprise produces more than 200 types of products that are in demand among residents of the city and regions. The organizational structure of management is aimed at creating conditions for the production and marketing of high-quality products, as well as the supply of new types of bakery products to the market.

In Ukraine, the largest cells of the baking industry are located in Kyiv – approximately 11-12%, Dnepropetrovsk region about 10%, Kharkov – 5-6%, Odessa – 5%, Zaporozhye – 4% [3]. The Ukrainian market of bread and bakery products can be divided into two segments: long-term storage products – products with low humidity and semi-finished products; short-term storage products are bread and pies made from wheat, rye and rye-wheat flour.

According to the information agency «AR-Group» [4], the assortment of bakery products on the Ukrainian market is distributed as follows: wheat bread – 39%, rye bread – 30%, rolls – 21%, fancy products – 5%, crackers – 2%, pies, donuts – 2%, other bakery products – 1% (fig. 1).

The modern development of the global catering industry is characterized by the introduction of technology for freezing semi-finished dough products. The technology makes it possible to provide consumers with a wide range of products and expand the sales network by creating mini-bakeries with an unfinished technological cycle [3, 4]. The use in the production of frozen dough blanks is promising:

- the possibility of using quick-frozen semi-finished products in the fast-food system;
- flexibility of the technological process;
- maintaining the freshness of finished products by the time of its sale;

- long shelf life of semi-finished dough products;
- a significant expansion of the range.

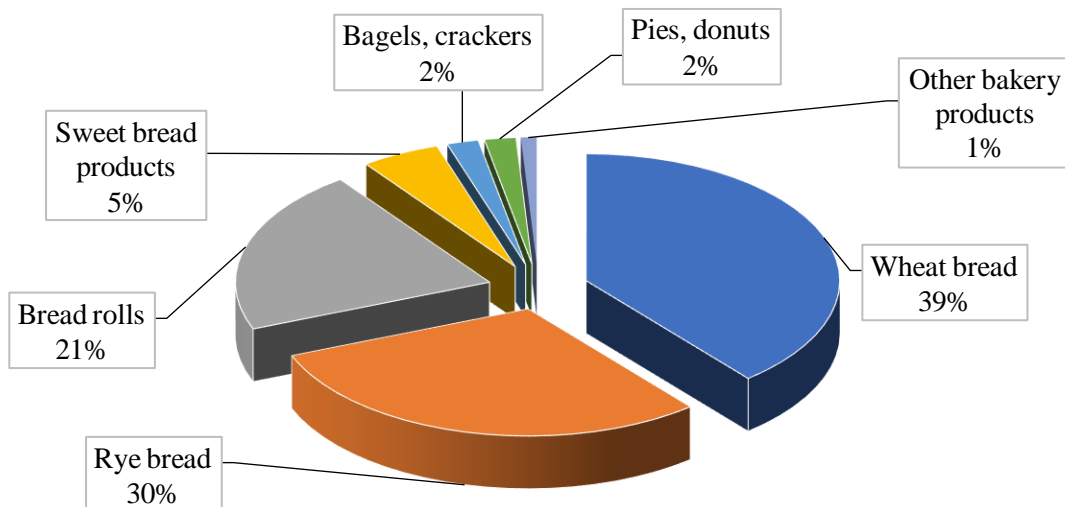


Figure 1 – Assortment of bakery products on the Ukrainian market

To date, there are three main methods for freezing bakery and confectionery products: freezing a semi-finished product (a raw product is frozen), freezing a partially finished semi-finished product, and freezing a finished product [5, 6]. When freezing a semi-finished product, the blanks are allowed to settle a little, then they are frozen and stored. With partial preparation, the product is usually baked until half cooked, then the dough pieces are frozen in a shock freezing chamber at a temperature of -30 to -40°C, packaged and sent for storage at a temperature of -18°C. With full baking, everything happens as with partial, but the product does not need to be cooked after defrosting, it is enough to reheat if necessary. For the freezing process, spiral quick-freezers are used. Spiral quick freezer ALCO food machines 500 is shown in figure 2, technical specifications in table 1.



Figure 2 – Spiral quick freezer for freezing semi-finished dough products

Table 1 – Characteristics of the quick freezer

ALCO food machines 500	Characteristics
Product entry height no more, mm	960
Product exit height, mm	1500 – 2100
Length of the input conveyor on the chamber, mm	540
Conveyor belt speed, m/min	2 – 18
Conveyor belt width, mm	400
Cooling capacity, kW	80
Refrigerant	Freon R404A, R507
Power, kWt	19
Overall dimensions, mm	6100x5332x3450
Temperature inside the chamber, °C	– 35
Air flow speed, m/s	2 – 4
Total capacity kg/h	200 – 500
Freezing time, min.	20 – 90
Performance for test and dough products, kg/h	300

Non-compliance with the technological parameters of the freezing process, such as temperature and air velocity in the quick freezer, can lead to a decrease in the quality of the freezing process. Accordingly, the improvement of the quick freezer and the process of freezing semi-finished products from dough based on automation is relevant.

Objective of the article – improvement of a quick freezer for freezing semi-finished dough products based on automation.

Presentation of the main study material. The process of freezing semi-finished products from dough is a complex multifactorial object. To improve this process, it is necessary to conduct a hardware-technological analysis. The set of equipment integrated into a flow-mechanized dough production line includes: a device for adding dough, an extruder for dough, a hopper for dough ripening, a conveyor for the top layer of dough, a belt conveyor, rolling and calibrating shafts, a conveyor belt, a transverse laminator, a longitudinal laminator, flour cleaning system, flour brush, etc. [7, 8].

Fast freezing is the main step in the technology of frozen semi-finished dough products. It is accompanied by the following undesirable effects: a decrease in the lifting force of yeast and a decrease in the rheological characteristics of the dough. To obtain the optimal quality of the finished product, it is necessary: the presence of air circulation (4-5 m/s) in the shock freezing chamber in combination with an optimally low temperature (-30-35 °C), which provides the necessary freezing of the dough piece (1°C/min). The duration of freezing of products should provide a freezing temperature in the center of -12-18°C.

On fig. 3 shows a parametric diagram of the process of freezing semi-finished products from dough. The main parameters that affect the process of freezing products, as well as disturbing and corrective actions are presented.

The main (input) parameters that affect the process of freezing semi-finished dough products include: dough humidity, dough temperature after kneading, dough fermentation time, flour quality, etc. The initial parameters are product temperature, weight, obtaining a stable product quality at the output [9, 10]. Disturbing influences – ambient temperature, relative air humidity, etc. Corrective actions include monitoring the temperature and speed of the cooling air near the surface of the product, the speed of the conveyor belt.

The difficulties of preparing croissants from frozen dough are associated with the requirements for the quality of finished raw materials, compliance with the sequence of stages and processing conditions, as well as obtaining a high-quality finished product. The main disadvantages arising in

the process of freezing semi-finished products include: low specific volume, dense internal structure of the croissant, compaction of individual layers.

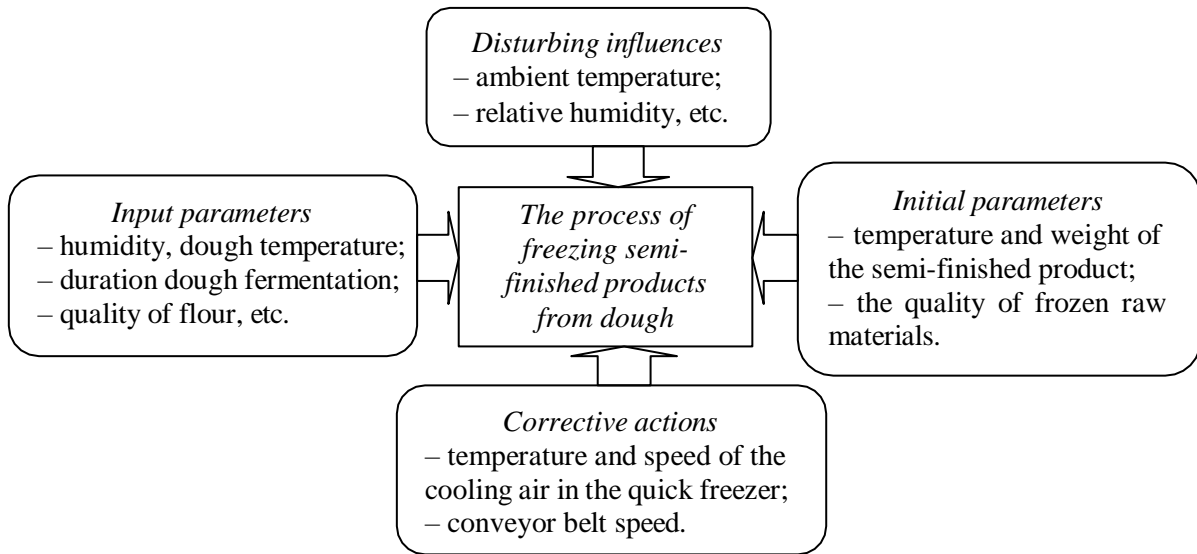


Figure 3 – Parametric diagram of the process of freezing semi-finished products from dough

Consider the technological scheme of freezing, which is based on a spiral conveyor. The block diagram shown in fig. 4 includes controls for predicting potentially expected temperature changes during freezing of semi-finished dough products.

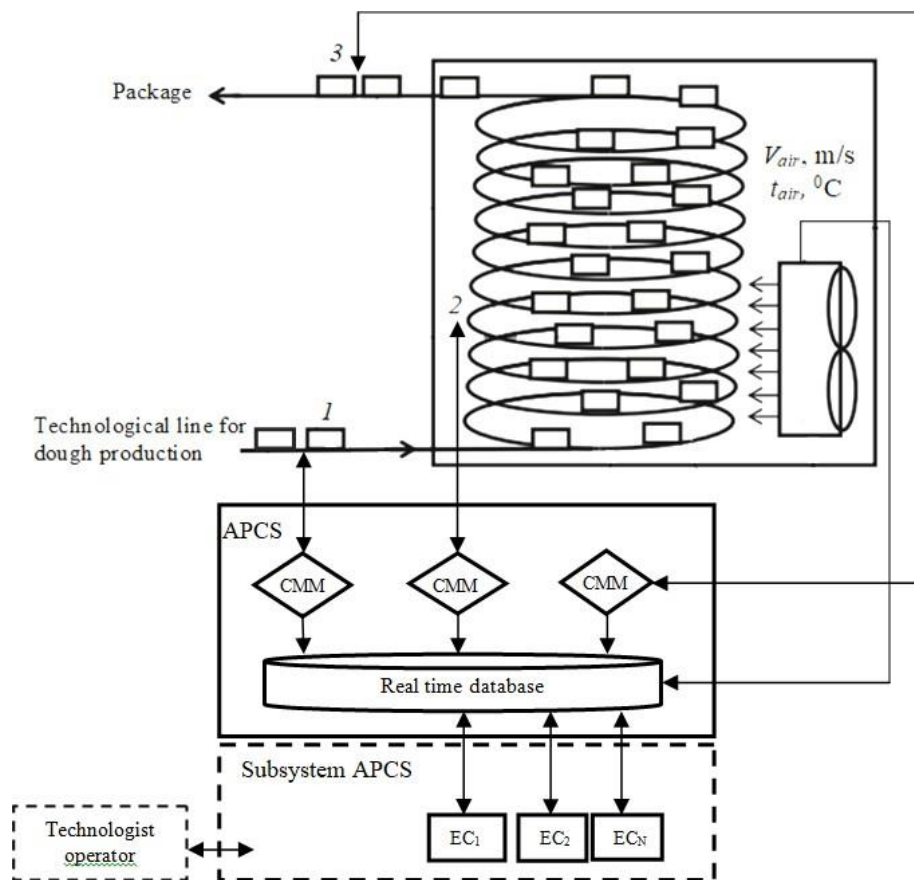


Figure 4 – Structural diagram of the dough freezing process in the technological process of its production

On fig. 4 presented: APCS – automated process control system; CMM – control and measuring means; EC – expert signal.

Control and measuring tools provide prediction of potentially expected temperature deviations at three stages: the temperature of the object coming from the production line (1), the temperature in the quick-freezing apparatus (2), the temperature of the object at the outlet of the quick-freezing apparatus (3) for the formation of corrective actions.

An improved block diagram of the process of freezing semi-finished products from dough based on automation tools is proposed. The automated complex makes it possible to form optimal values of control actions to improve the quality of the initial product with minimal energy consumption. The system provides for the introduction of corrective actions, namely: the temperature and speed of the cooling air, the speed of the conveyor belt to maintain a stable temperature for freezing semi-finished dough products. Proper freezing will ensure a stable quality of the finished product, exclude a small specific volume, a dense internal structure, and compaction of individual layers.

Conclusions. The modern development of the global catering industry is characterized by the introduction of technology for freezing semi-finished dough products. The technology makes it possible to provide consumers with a wide range of products and expand the sales network by creating mini-bakeries with an unfinished technological cycle. The use of frozen dough pieces in production is promising: the possibility of using quick-frozen semi-finished products in the fast-food system; process flexibility; preservation of the freshness of finished products by the time of its sale; long shelf life of semi-finished dough products; significant expansion of the range.

An improved block diagram of the process of freezing semi-finished products from dough based on automation tools is proposed. The automated complex makes it possible to form optimal values of control actions to improve the quality of the initial product with minimal energy consumption. The system provides for the introduction of corrective actions, namely: the temperature and speed of the cooling air, the speed of the conveyor belt to maintain a stable temperature for freezing semi-finished dough products. Proper freezing will ensure a stable quality of the finished product, exclude a small specific volume, a dense internal structure, and compaction of individual layers.

References

1. Freezing dough semi-finished products in the restaurant business. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9578/1/article.pdf>.
2. Vanherpe, Kh.A. (2006). *Zamorozhuvannya khlibobulochnykh vyrobiv v Yevropi* [Freezing of bakery products in Europe], *Khlibni vyrobny* [Bread Products], 6, pp. 210–250.
3. *Informatsiynе ahent-stvo «Ahro Perspektyva»* [«Agro Perspective» information agency]. URL: [http:// http://www.agroperspektiva.com](http://http://www.agroperspektiva.com).
4. *Khlibobulochnyye izdeliya Ukrainy* [Bakery products of Ukraine]. URL: <http://pro-consulting.ua/projects/139881-issledovanie-rynka-khbi-v-ukraine-2016-od.html>.
5. Shelyakov, O.P. (2006). *Tekhnolohichne obladnannya i kholodyl'na tekhnika* [Technological equipment and refrigeration equipment]. Kyiv, Graduate school, 503 p.
6. Podmazko, O. S. (2015). *Kholodyl'na tekhnika i tekhnolohiya* [Refrigeration equipment and technology]. Odesa, Sokol, 200 p.
7. Lisovenko, O. T., Rudenko-Hrytsyuk, O. A. (2000). *Tekhnolohichne obladnannya khlibopekars'kykh i makaronnykh vyrobnyts'v* [Technological equipment of bakery and pasta industries]. Kyiv, Scientific thought, 282 p.
8. Pet'ko, V. F., Haponyuk, O. I., Pet'ko, Ye. V. (2007). *Tekhnolohichne ustatkuvannya khlibopekars'koho, makaronnoho i kondyters'koho vyrobnyts'va* [Technological equipment of bakery, macaroni and confectionery industries]. Kyiv, Center of educational literature, 432 p.
9. *Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh protsesiv i SAK* [Automation of technological processes and SAC]. URL: <https://atpicak.ucoz.ua>.

10. Omelchenko, O. V., Tsvirkun, L. O., Luchenchyn, M. S. (2022). *Model' avtomatyzovanoj systemy teplovoj obrobky dlya aparatu z konservuvannya plodoovochevoj syroviny* [Model of the automated heat treatment system for the apparatus for preserving fruit and vegetable raw materials]. *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], 1 (44), pp. 37–43.

Список літератури

1. Freezing dough semi-finished products in the restaurant business. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9578/1/article.pdf>.
2. Vanherpe H. A. Freezing of bakery products in Europe. *Bread Products*. 2006. № 6. P. 210–250.
3. Інформаційне агентство «Агро Перспектива». URL: <http://www.agroperspectiva.com>.
4. Хлібобулочні виробни України. URL: <http://pro-consulting.ua/projects/139881-issledovanie-rynka-khbi-v-ukraine-2016-od.html>.
5. Шеляков О. П. Технологічне обладнання і холодильна техніка. К.: Вища школа, 2006. 503 с.
6. Подмазко О. С. Холодильна техніка і технологія. Одеса, Вид-й центр ОДАХ, 2015. 200 с.
7. Лісовенко О. Т., Руденко-Грицюк О. А. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв. К.: Наукова думка, 2000. 282 с.
8. Петько В. Ф., Гапонюк О. І., Петько Є. В. Технологічне устаткування хлібопекарського, макаронного і кондитерського виробництв. К.: Центр учбової літератури, 2007. 432 с.
9. Автоматизація технологічних процесів і САК. URL : <https://atpicak.ucoz.ua>.
10. Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Лученчин М. С. Модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2022. №1(44). С. 37–43.

Мета. Метою статті є удосконалення спірального швидкозаморозильного апарату для заморожування напівфабрикатів із тіста на основі засобів автоматизації.

Методи. У роботі для удосконалення спірального швидкозаморозильного апарату для заморожування напівфабрикатів із тіста, застосовано методи та засоби автоматизації технологічних процесів у харчовому виробництві.

Результати. Зазначено, що сучасний розвиток світової індустрії громадського харчування характеризується упровадженням нових технологій. Однією з таких технологій є швидке заморожування, яке дозволяє забезпечити споживачів більш широким асортиментом продукції та розширити мережу збуту за рахунок створення міні-пекарні з незавершеним циклом. На сьогоднішній день хлібобулочна промисловість виготовляє заморожені напівфабрикати (заморожена сировина), заморожені частково готові напівфабрикати і заморожені готові вироби. Розглянуто параметричну схему процесу заморожування напівфабрикатів із тіста, яка включає вхідні та вихідні параметри, що впливають на процес заморожування напівфабрикатів із тіста, а також обурювальні та керуючі впливи, необхідні для здійснення процесу автоматизації. На основі аналізу технологічного процесу з виготовлення тіста до основних (вихідних) параметрів було віднесено: вологість тіста, температура тіста після змішування, час бродіння тіста, якість борошна тощо. Вихідними параметрами є стабільна температура та маса продукту для отримання якісної сировини. Обурювальні впливи: температура навколишнього середовища, відносна вологість повітря тощо. Керуючі впливи включають моніторинг температури та швидкості охолоджуючого повітря, швидкість конвеєрної стрічки. Запропоновано структурну схему процесу заморожених напівфабрикатів з тіста на основі засобів автоматизації. Система передбачає введення коригувальних дій, необхідних для

підтримки основних показників стабільного замороження напівфабрикатів із тіста. Контрольно-вимірювальні засоби здійснюють вимірювання температури в три етапи: температура об'єкта, що надходить з технологічної лінії, температура в швидкоморозильному апараті, температура об'єкта на виході з виробничої лінії задля формування коригувальних дій. Правильна заморозка забезпечить споживача якісною готовою продукцією, виключаючи недостатній питомим об'ємом сировини, щільну внутрішню структуру і ущільнення деяких шарів.

Ключові слова: *спіральний морозильний апарат, заморожування напівфабрикатів, автоматизація, швидке заморожування, технологічна лінія, контрольно-вимірювальні засоби, тісто.*

*Цвіркун Л. О., канд. пед. наук¹,
Омельченко О. В., канд. техн. наук¹,
Цвіркун С. Л., канд. техн. наук²,
Шкільна Ю. С., здобувач ОС магістр¹,
Корінь К. О., здобувач ОС бакалавр¹*

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

²Криворізький національний університет (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: tserg30@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК У ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ ОВОЧІВ З ОДНОРІДНОЮ ТЕКСТУРОЮ

UDC 641.512(045)

*Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences¹
Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹
Tsvirkun S. L., PhD in Engineering sciences²
Shkilna Yu. S., a graduate of a master's degree¹
Koryn K. O., a graduate of a bachelor degree¹*

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

²Kryvyi Rih National University (Kryvyi Rih, Ukraine), e-mail: tserg30@ukr.net

SIMULATION OF FORCE CHARACTERISTICS IN THE PROCESS OF CUTTING VEGETABLES WITH A HOMOGENEOUS TEXTURE

Мета. Метою статті є моделювання силових характеристик у процесі різання овочів з однорідною текстурою.

Методи. У роботі для здійснення аналізу силової взаємодії матеріалу з ріжучим інструментом, застосовано методи статички та динаміки.

Результати. Зазначено, що овочі забезпечують людський організм вітамінами, мінералами та антиоксидантами. Для зручності споживання овочі підлягають механічній обробці, а саме: різанню, подрібненню, шинкуванню, що є різними методами зменшення розміру. Зазначені операції досягаються механічним шляхом без зміни хімічних властивостей сировини. Різання є однією з найважливіших операцій, що має надати відповідну форму та забезпечується проникненням гострого ножа крізь матеріал, що призводить до отримання нової поверхні та менших розмірів, необхідних для певної мети. Надання оброблюваному матеріалу певної форми, здійснюється за допомогою гострого ріжучого інструменту, наприклад ножа чи леза. Для того щоб кінцевий продукт мав необхідну форму, прикладається певне зусилля до ножа для того, щоб під впливом його леза матеріал почав поділятися на частини. Тому важливим є тип різального інструменту, а саме леза які мають різну форму та конструктивні параметри – гостроту і кут заточування. Сконцентровано увагу на тому, що нормальне різання передбачає лише наявність нормальних зусиль при переміщенні леза перпендикулярно оброблюваній поверхні. При похилому різанні частина нормальних зусиль перетворюється у тангенціальні, внаслідок чого суттєво знижується зусилля різання. Ріжучий інструмент при ковзанні різанні, крім переміщення в нормальному або похилому напрямку щодо поверхні оброблюваного продукту, може здійснювати переміщення

паралельно ріжучій кромці, що значною мірою знижує зусилля різання. Здійснено моделювання силових характеристик у процесі різання овочів з однорідною текстурою. Розглянуто співвідношення сили різання та деформації (глибини різання) на прикладі розрізання овочевої сировини. У процесі розрізання картоплі спостерігалось постійне збільшення сили різання. Досягши критичного значення, зусилля почало зменшуватися у міру збільшення глибини розрізання. Всю криву можна розділити на дві половини, які є майже дзеркальним відображенням відносно точки, що відповідає критичній сили. Збільшення сили під час проникнення леза, аж до приблизно середньої точки, пояснюється циліндричною формою сировини та вказує на однорідність текстури.

Ключові слова: овочі, різання, ріжуча кромка леза, ріжучий інструмент, нормальне різання, похиле різання, ковзне різання, сила різання, моделювання.

Постановка проблеми. Овоч – це широкий термін, який відноситься до їстівних частин рослини. Тому будь-яка частина рослини, яку можна вживати в сирому або вареному вигляді, називається овочем. Вони забезпечують людський організм вітамінами, мінералами та антиоксидантами. Наприклад, вітамін А, який міститься в овочах зеленого, жовтого або помаранчевого кольору, важливий для здоров'я очей і шкіри, а також зміцнює імунну систему. Вітамін Е одним з найважливіших антиоксидантів, що допомагає у відновленні клітин – це броколі, зелень, шпинат. Овочі покращують смак і споживання нашої основної їжі та є джерелом необхідних мінералів, таких як: мідь, магній, цинк, фосфор, селен.

Для зручності споживання овочі підлягають механічним обробці, а саме: різанню, подрібненню, шинкуванню, що є різними методами зменшення розміру. Зазначені операції досягаються механічним шляхом без зміни хімічних властивостей сировини. Різання є однією з найважливіших операцій, що має надати відповідну форму та забезпечується проникненням гострого ножа крізь матеріал, що призводить до отримання нової поверхні та менших розмірів, необхідних для певної мети [1]. Ручне різання та нарізання овочів займає не лише багато часу, а й може призвести до забруднення харчових продуктів. Тому у процесі подрібнення сировини застосовуються і електричні та автоматизовані методи, які постійно удосконалюються.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом багато досліджень присвячено висвітленню різним аспектам, пов'язаних із автоматизацією обладнання для подрібнення овочевої сировини [1, 2, 3, 4]. З-поміж таких досліджень є розробка автоматичної овочерізки, яка складається з камери для зйомки зображення овочів, двигуна постійного струму для керування рухом овочі та нарізка. Процес автоматизації здійснюється за допомогою програмного забезпечення та мікроконтролера запрограмованого для аналізу отриманих зображень сировини [2]. Овочі подаються в установку через бункерний пристрій, а потік овочів до мікроконтролера. Камера встановлена на бункер здійснює відстеження потоку зображень в реальному часі. Розпізнавання овочів виконується за кольором та отриманими контурами овочевої сировини.

Також науковцями запропоновано конструкцію автоматизованої овочерізки у якій здійснюється автоматизоване управління процесом різання за допомогою використання програмного забезпечення. Здійснюється автоматизований контроль та вибір відповідного діапазону швидкості для різання різних видів овочів, контролю руху усіх рухомих частин [3]. Крім того, реалізована УФ-платформа, яка забезпечує безпеку продуктів для споживання без шкоди як для користувача, так і для їжі.

Надання оброблюємому матеріалу певної форми, здійснюється за допомогою гострого ріжучого інструменту, наприклад ножа чи леза. Для того щоб кінцевий продукт мав необхідну форму, прикладається певне зусилля до ножа для того, щоб під впливом його леза матеріал почав поділятися на частини. Тому важливим є тип різального інструменту, а саме леза які мають різну форму та конструктивні параметри – гострота і кут заточування, рис. 1.

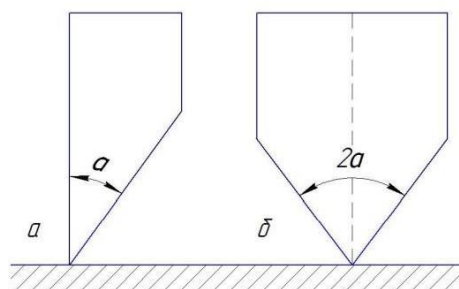


Рисунок 1 – Форма ножа
а – односторонній; б – двосторонній

У контексті окресленої проблеми, розглянемо типи різання ножем, а саме: нормальне різання, похиле різання, ковзне різання, рис. 2.

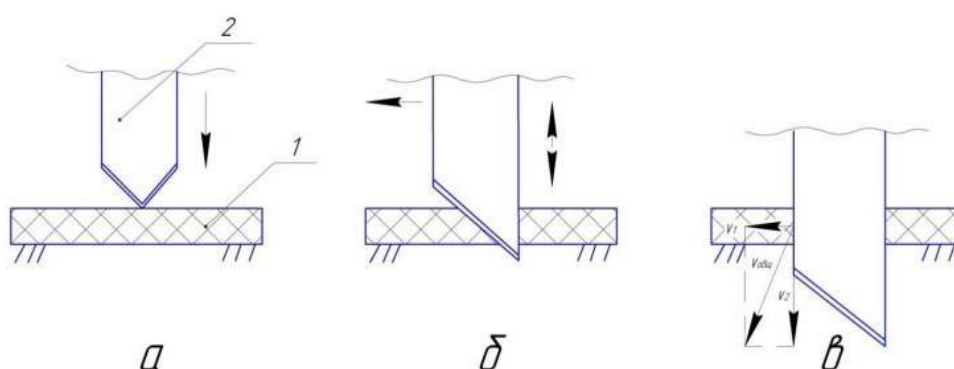


Рисунок 2 – Різання ножем
а – нормальне різання, б – похиле різання,
в – ковзне різання

Ефективність процесу різання може бути підвищена за рахунок зменшення сил опору, що з'являються при розрізанні матеріалу на невеликі порції. Це може бути досягнуто геометричним і кінематичним перетворенням складових сили різання, зокрема кута заточування ножа і гостроти ріжучої кромки леза [6, 9, 10]. Взаємодія леза з матеріалом у процесі різання характеризується надзвичайно складними процесами. Під час поділу матеріалу на частині під впливом леза відбувається процес попереднього стиснення сировини до виникнення на його кромці руйнівної контактної напруги. Момент виникнення контактної напруги визначається значенням зусилля P , що прикладається до ножа. У більшості випадків при різанні однорідних матеріалів зусилля P при якому завершується процес стиснення матеріалу і починається його різання є максимальним з усіх зусиль, що виникають у процесі різання. Як зазначалося раніше, таке зусилля різання приймає величину P і є критичним зусиллям різання [5, 6, 7, 8]. Нормальне різання передбачає лише наявність нормальних зусиль при переміщенні леза перпендикулярно оброблюваній поверхні. При похилому різанні частина нормальних зусиль перетворюється у тангенціальні, внаслідок чого суттєво знижується зусилля різання. Ріжучий інструмент при ковзанні різанні, крім переміщення в нормальному або похилому напрямку щодо поверхні оброблюваного продукту, може здійснювати переміщення паралельно ріжучій кромці, що значною мірою знижує зусилля різання.

Мета статті – моделювання силових характеристик у процесі різання овочів з однорідною текстурою.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо силову взаємодію матеріалу з ріжучим інструментом, рис. 3.

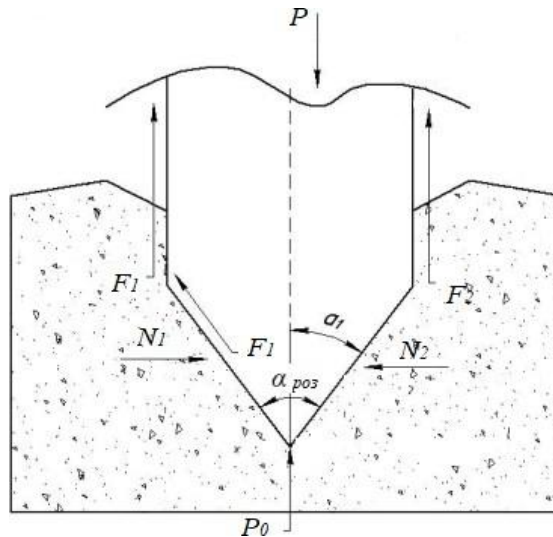


Рисунок 3 – Силова взаємодія матеріалу з ріжучим інструментом

Під час дії ножа на шар матеріалу на нього впливає вертикальна сила P , нормальні реакції N_1 та N_2 , сили тертя, що діють на бічні грані F_1 та F_2 та сила опору різання лезом P_p . Вважаючи рух леза рівномірним, рівняння рівноваги набуде вигляду [5, 6, 7, 8]

$$\begin{cases} |N_1 - N_2 \cos \beta + F_2 \sin \beta = 0; \\ |-P + P_p + F_1 + F_2 \cos \beta + N_2 \sin \beta = 0 \end{cases} \quad (1)$$

При русі ножа та наявності ковзання між матеріалом та бічними гранями мають місце співвідношення]

$$F_1 = fN_1, H \quad (2)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання.

$$F_2 = fN_2, H \quad (3)$$

Ніж розсуває шар матеріалу на деяку відстань, яка дорівнює товщині ріжучої кромки. Тоді $P_p = 0$, а $P = P_0$. Отримаємо

$$N_1 = \frac{P_0 (\cos \beta - f \sin \beta)}{2f \cos \beta - (1 - f) \sin \beta} \quad (4)$$

$$N_2 = \frac{P_0}{2f \cos \beta - (1 - f) \sin \beta} \quad (5)$$

Сили P та P_0 перпендикулярні до осі шару. При швидкостях різання, незначних порівняно зі швидкістю поширення деформацій, сили майже рівномірно розподіляються по всьому поперечному перерізу матеріал, а це означає, що при різанні на малих швидкостях

руйнування відбувається майже одночасно. Проте необхідно враховувати низку чинників, які впливають на процес різання, а саме: фізико-механічні та реологічні властивості овочевої сировини [8]. Моделювання силових характеристик у процесі різання овочів з однорідною текстурою представлено на рис. 4. Розглянуто характеристики сили різання та деформацію (глибину різання) на прикладі картоплі.

У процесі розрізання картоплі спостерігається постійне збільшення сили різання. Досягши критичного значення, зусилля починає зменшуватися у міру збільшення глибини розрізання. Всю криву можна розділити на дві половини, які є майже дзеркальним відображенням відносно точки, що відповідає критичній сили. Збільшення сили під час проникнення леза, аж до приблизно середньої точки, пояснюється циліндричною формою сировини та вказує на однорідність текстури.

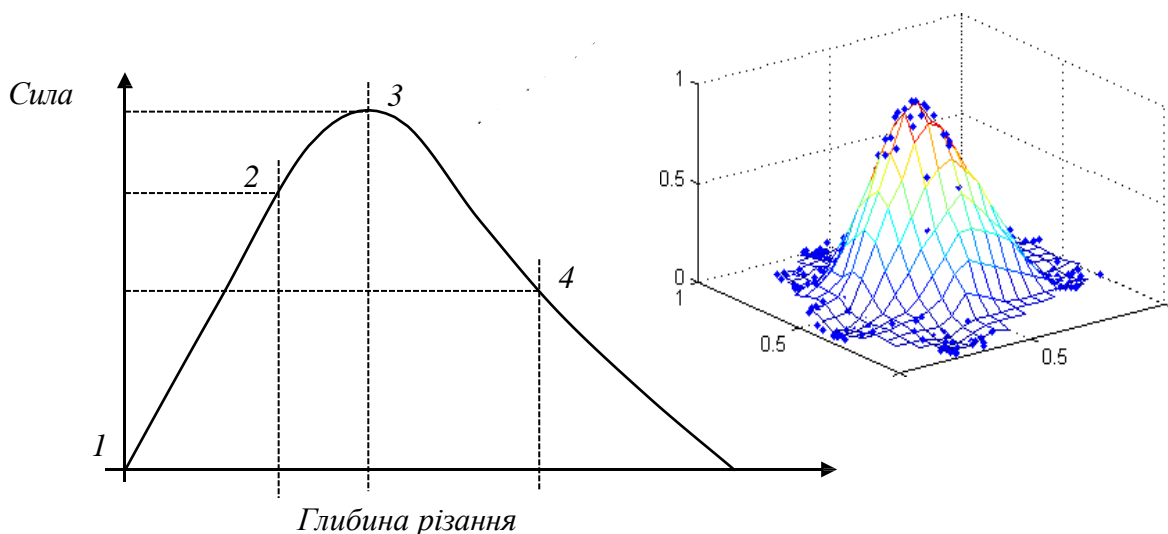


Рисунок 4 – Моделювання силових характеристик у процесі різання овочів з однорідною текстурою

Точка 1. Під впливом леза відбувається процес попереднього стиснення сировини до виникнення на його кромці руйнівної контактної напруги. На цьому етапі відбувається деформація під дією ножа.

Точка 2 та Точка 3. При різанні однорідних матеріалів зусилля при якому завершується процес стиснення матеріалу і починається його різання є максимальним з усіх зусиль, що виникають у процесі різання. На цьому етапі відбувається постійне збільшення сили різання, яке досягає критичного значення в *Точці 3*.

Точка 4. При подальшому зануренні леза спостерігається зменшення значення зусилля у міру збільшення глибини розрізання.

Висновки. Зазначено, що різання є однією з найважливіших операцій, що має надати відповідну форму та забезпечується проникненням гострого ножа крізь матеріал, що призводить до отримання нової поверхні та менших розмірів, необхідних для певної мети. Надання оброблюємому матеріалу певної форми, здійснюється за допомогою гострого ріжучого інструменту, наприклад ножа чи леза. Для того щоб кінцевий продукт мав необхідну форму, прикладається певне зусилля до ножа для того, щоб під впливом його леза матеріал почав поділятися на частини. Тому важливим є тип різального інструменту, а саме леза які мають різну форму та конструктивні параметри – гострота і кут заточування.

Сконцентровано увагу на тому, що нормальне різання передбачає лише наявність нормальних зусиль при переміщенні леза перпендикулярно оброблюваної поверхні. При похилому різанні частина нормальних зусиль перетворюється у тангенціальні, внаслідок чого суттєво знижується зусилля різання. Ріжучий інструмент при ковзанні різанні, крім переміщення в нормальному або похилому напрямку щодо поверхні оброблюваного продукту,

може здійснювати переміщення паралельно ріжучій кромці, що значною мірою знижує зусилля різання.

Здійснено моделювання силових характеристик у процесі різання овочів з однорідною текстурою. Розглянуто співвідношення сили різання та деформації (глибини різання) на прикладі розрізання овочевої сировини. У процесі розрізання картоплі спостерігалось постійне збільшення сили різання. Досягши критичного значення, зусилля почало зменшуватися у міру збільшення глибини розрізання. Всю криву можна розділити на дві половини, які є майже дзеркальним відображенням відносно точки, що відповідає критичній сили. Збільшення сили під час проникнення леза, аж до приблизно середньої точки, пояснюється циліндричною формою сировини та вказує на однорідність текстури.

Список літератури

1. Adewale Mary, Raji A.O., Sedara Adewale. Development leafy vegetable slicing machine for vegetables. *World academics journal of engineering sciences*. 2023. Vol. 10. P. 24–36.
2. Aditya Pratap K., Roji Marjorie S., Saikumar M. Automatic vegetable chopper using image processing. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 33. P. 4787–4789.
3. Guide Ganyani, Tawanda Mushiri. Design of an automated vegetable cutter and slicer. *Industrial Engineering*. 2019. Vol. 3. P. 22–26.
4. Ramakrishna Reddy, Venkata Chaitanya Kumar. Fabrication of automated vegetable cutting machine. *International research journal of engineering and technology*. 2021. Vol. 8. P. 1390–1393.
5. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів. Львів: Новий Світ-2000, 2020. 471 с.
6. Increasing the efficiency of food material cutting during inclined and shear movements of knife. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8746097/>.
7. Advanced cutting techniques for solid food: mechanisms, applications, modeling approaches, and future perspectives. URL: https://www.researchgate.net/publication/358091568_Advanced_cutting_techniques_for_solid_food_Mechanisms_applications_modeling_approaches_and_future_perspectives
8. Vishal Singha, Madhusweta Dasa. Effects of knife edge angle and speed on peak force and specific energy when cutting vegetables of diverse texture. *International journal of food studies*. 2016. Vol. 5. P. 22–38.
9. Закалов О., Мазяк З., Бортник А. Вплив форми леза ножів на енергоспоживання кутера. *Вісник ТДТУ*. 2010. № 2. С. 94–100.
10. Люлька О. М., Мирончук В. Г., Люлька Д. М. Геометрія ріжучої кромки бурякорізальних ножів, як фактор отримання якісної стружки. *Цукор України*. 2016. №12. С. 36–40.

References

1. Adewale, Mary, Raji, A.O., Sedara Adewale. (2013). *Mashyna dlya narizky lystovykh ovochiv rozrobky* [Development leafy vegetable slicing machine for vegetables.]. *Vsesvitniy akademichnyy zhurnal inzhenernykh nauk* [World academics journal of engineering sciences]. Vol. 10. P. 24–36.
2. Aditya, P. K., Roji, M. S., Saikumar, M. (2020). *Avtomatychna ovocherizka z obrobkoyu zobrazhen'* [Automatic vegetable chopper using image processing]. *Materialy s'ohodni: Materialy* [Materials Today: Proceedings]. Vol. 33, P. 4787–4789.
3. Guide, Ganyani, Tawanda, Mushiri. (2019). *Konstruktsiya avtomatyzovanoyi ovocherizky ta narizky* [Design of an automated vegetable cutter and slicer]. *Promyslove budivnytstvo* [Industrial Engineering]. Vol. 3. P. 22–26.
4. Ramakrishna, Reddy, Venkata Chaitanya, Kumar. (2021). *Vyhotovlennya avtomatyzovanoyi ovocherizky* [Fabrication of automated vegetable cutting machine]. *Mizhnarodnyy doslidnyts'kyi zhurnal tekhniki ta tekhnolohiy* [International research journal of engineering and technology]. Vol. 8. P. 1390–1393.

5. Mazur, M. P. (2020). *Osnovy teoriiy rizannya materialiv* [Fundamentals of material cutting theory]. Lviv, Novy Svit-2000, 471 p.

6. *Pidvyshchennya efektyvnosti rizannya kharchovykh produktiv pry pokhylykh i zsvynnykh rukhakh nozha* [Increasing the efficiency of food material cutting during inclined and shear movements of knife]. Access mode: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8746097/>

7. *Peredovi tekhnolohiyi rizannya tverdoyi yizhi: mekhanizmy, zastosuvannya, pidkhody do modelyuvannya ta maybutni perspektyvy* [Advanced cutting techniques for solid food: mechanisms, applications, modeling approaches, and future perspectives]. Access mode: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35075750/>.

8. Vishal, S., Madhusweta, D. (2016). *Vplyv kuta ta shvydkosti leza nozha na pikovu sylu ta pytomu enerhiyu pry narizanni ovochiv riznoyi tekstury* [Effects of knife edge angle and speed on peak force and specific energy when cutting vegetables of diverse texture]. *Mizhnarodnyy zhurnal kharchovykh doslidzhen'* [International journal of food studies]. Vol. 5, P. 22–38.

9. Zakalov, O., Mazyak, Z., Bortnyk, A. (2010). *Vplyv formy leza nozhiv na enerhospozhyvannya kutera* [The influence of the shape of the knife blade on the energy consumption of the cutter]. *Visnyk TDTU* [Bulletin of TDTU]. Vol. 2. P. 94–100.

10. Lyul'ka, O. M., Myronchuk, V. H., Lyul'ka, D. M. (2016). *Heometriya rizhuchoyi kromky buryakorizal'nykh nozhiv, yak faktor otrymannya yakisnoyi struzhky* [The geometry of the cutting edge of borax knives, as a factor in the removal of acid chips]. *Tsukor Ukrayiny* [Sugar of Ukraine]. Vol. 12. P. 36–40.

Objective. *The purpose of the article is to model the force characteristics in the process of slicing vegetables of uniform texture.*

Methods. *In this work, statics and dynamics methods were used to analyze the force interaction of the material with the cutting tool.*

Results. *It is noted that vegetables supply the human body with vitamins, minerals and antioxidants. For ease of consumption, vegetables are subject to mechanical processing, namely: cutting, chopping, shredding, which are different methods of reducing size. These operations are achieved mechanically without changing the chemical properties of the raw material. Cutting is one of the most important operations that gives the appropriate shape and is achieved by the penetration of a sharp knife through the material, resulting in a new surface and smaller dimensions required for a specific purpose. Giving the processed material a certain shape is carried out using a sharp cutting tool, such as a knife or blade. In order for the final product to have the required shape, a certain force is applied to the knife so that, under the influence of its blade, the material begins to divide into parts. Therefore, the type of cutting tool is important, namely blades that have different shapes and design parameters - sharpness and sharpening angle. Attention is focused on the fact that normal cutting involves only the presence of normal forces when moving the blade perpendicular to the surface being processed. During bevel cutting, part of the normal forces turns into tangential forces, as a result of which the cutting force is significantly reduced. When sliding cutting, the cutting tool, in addition to moving in a normal or inclined direction relative to the surface of the product being processed, can move parallel to the cutting edge, which significantly reduces the cutting force. Modeling of force characteristics in the process of cutting vegetables with a uniform texture was carried out. The relationship between cutting force and deformation (cutting depth) is considered using the example of cutting vegetable raw materials. As the potatoes were cut, a constant increase in cutting force was observed. Having reached a critical value, the force began to decrease as the cutting depth increased. The entire curve can be divided into two halves, which are almost a mirror image relative to the point corresponding to the critical force. The increase in force with blade penetration up to approximately the midpoint is explained by the cylindrical shape of the raw material and indicates uniformity of texture.*

Key words: *vegetables, cutting, blade cutting edge, cutting tool, normal cutting, inclined cutting, sliding cutting, cutting force, modeling.*

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2023-47-2-78-89
УДК 621.56/.59:658.588(045)

*Хорольський В. П., д-р техн. наук,
професор
Коренець Ю. М., старший викладач
Петрушина Ю.М.*

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

ІДЕНТИФІКАЦІЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В ХОЛОДИЛЬНІЙ МАШИНІ ПРОМИСЛОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

UDC 621.56/.59:658.588(045)

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

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

IDENTIFICATION OF EMERGENCY SITUATIONS IN THE REFRIGERATING MACHINE OF AN INDUSTRIAL REFRIGERATOR

Мета. Метою статті є розробка рекомендацій для підвищення безаварійності складних промислових об'єктів за рахунок раннього розпізнавання аварійних ситуацій шляхом ідентифікації їх експлуатаційних параметрів.

Методи. У статті використано методи нечіткі методи для розробки моделі та методи розпізнавання аварійних ситуацій, аварій і оптимізації роботи холодильних машин, холодозабезпечення обладнання для заморожування продуктів харчування. Серед нечітких методів використано нечітку алгебру бінарних оцінок надійності обладнання холодильних машин: компресорів, конденсаторів, систем керування, систем енергоспоживання та випарників.

Результати. З метою створення бази даних і бази знань про небезпечні ситуації в процесах виробництва штучного холоду й холодозабезпечення промислового холодильника проведено аналіз виробничих ситуацій і станів обладнання процесів заморожування продуктів харчування.

Запропонований алгоритм оцінки експлуатаційних параметрів складається з таких основних етапів, як декомпозиція підприємства – промислового холодильника на відповідні складові технологічних блоків; визначення основних аварійних ситуацій в системі; визначення нормальних значень робочих характеристик процесу холодозабезпечення холодильних камер підприємства-холодильника; визначення можливих причин і варіантів дій щодо усунення несправностей; визначення взаємозв'язків несправностей та їх причин для відповідної комбінації експлуатаційних параметрів; створення бази даних можливих аварійних ситуацій для кожної несправності.

© Хорольський В. П., Коренець Ю. М.,
Петрушина Ю.М.

Розроблена система розпізнавання аварійних ситуацій має такі переваги: швидкодію алгоритмів розпізнавання аварійних ситуацій та захисту обладнання від аварій; можливість візуалізації аварійних ситуацій оператору в режимі реального часу та надання рекомендацій операційному персоналу щодо прищвидшеного подолання аварійної ситуації; гнучка схема ІСОАС опису і введення правил установки.

На основі проведеного тестування зроблено висновок, що ІСОАС є найбільш ефективним засобом при рішенні задач ідентифікації аварійних ситуацій в режимі реального часу.

Ключові слова: *холодильна машина, аварія, компресор, алгоритми, нейронечітка математика, розпізнавання аварій.*

Постановка проблеми. Аварійні ситуації в промислових холодильниках (ПРХ) можуть становити серйозну небезпеку як для продуктів, що зберігаються, так і для персоналу.

Розповсюдженими надзвичайними ситуаціями, які можуть спостерігатися в роботі професійного холодильного обладнання, є:

- перепади напруги в електричній мережі або припинення живлення, що може призвести до підвищення температури всередині холодильника і призвести до псування продуктів, які в ньому зберігаються;
- різкі зміни температури в камерах холодильника, викликані будь-якими причинами, можуть вплинути на якість і безпеку харчових продуктів;
- витік холодоагенту може не тільки вплинути на ефективність системи охолодження, але й зашкодити здоров'ю людей та навколишньому середовищу;
- неправильно закриті або несправні двері холодильних камер можуть призвести до коливань температури та порушити цілісність зберігаються товарів;
- збої в самій системі охолодження можуть призвести до недостатнього охолодження та подальшого псування продуктів, що зберігаються;
- електричні несправності або перегрів компонентів можуть становити в промислових холодильниках небезпеку пожежі;
- забруднення товарів, що зберігаються, внаслідок розливів, витоків або неправильного поводження з системою охолодження і продуктами в холодильній камері.

Запобігти аваріям може регулярне технічне обслуговування, навчання персоналу та впровадження заходів безпеки. Такі дії мають вирішальне значення для запобігання аварійним ситуаціям у промисловому холодильнику або пом'якшення їх наслідків. Проте надзвичайно важливо регулярно моніторити роботу промислового холодильника на предмет виникнення можливих аварійних ситуацій та мати чіткі плани реагування на надзвичайні ситуації у випадку їх виникнення. Дана стаття присвячена розробці автоматизованої системи розпізнавання й попередження аварійних ситуацій в промислових холодильниках на підставі регулярного контролю і аналізу їх експлуатаційних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, які пов'язані з системним аналізом складних технологічних процесів, а також розробкою їх систем ідентифікацій з розпізнавання аварійних ситуацій з використанням комп'ютерних технологій і технологій штучного інтелектуального керування складними технологічними процесами розглядаються в наукових роботах авторів М. З. Згуровського, І. Б. Сіроджі, Ю. Г. Сухенка, О. А. Литвиненка, М. Г. Хмельнюка, О. С. Подмазка та інших представників вітчизняних наукових шкіл [1-7]. У той же час ці системи розроблялися, в основному, для технологій машинобудування, хіміко-технологічних збагачувальних процесів та металургії. Тому вони не враховують особливості технологічного процесу одержання штучного холоду, керування процесами заморожування продуктів харчування з різними режимами холодозабезпечення холодильних камер підприємства-холодильника та характеристиками зберігання продуктів харчування. Необхідно зазначити, що особливістю сучасних розробок іноземних авторів в цьому напрямку

[8, 9] є використання нечіткого підходу до розробки моделей управління типу «ситуація – дія» і «ситуація – стратегія управління – дія».

Метою статті є розробка рекомендацій для підвищення безаварійності складних промислових об'єктів за рахунок раннього розпізнавання аварійних ситуацій шляхом ідентифікації їх експлуатаційних параметрів.

Виклад основного матеріалу. Інтелектуальна ситуаційна модель складного технологічного процесу (СТП) виробництва штучного холоду холодильними машинами промислового холодильника (ПРХ) і холодозабезпечення холодильних камер з оптимізацією параметрів заморожування може бути представлена у вигляді:

$$SM : \{X, Y, BP, BN, AI\}, \quad (1)$$

де X, Y – координати моделі (вхідні та вихідні параметри);

BP – база даних щодо продукційних правил;

BN – база даних щодо нормативів;

AI – алгоритм ідентифікації нечітких ситуацій.

Вхідними координатами моделі X є інформація (кількісна і якісна), яку ОПР вносить до бази знань щодо ситуації з холодозабезпечення холодильних камер ПРХ. Вихідними координатами моделі Y є інформація, яка надається ОПР промислового холодильника і включає:

- характеристику поточної ситуації;
- ознаки і причину несправності;
- спосіб усунення визначеної несправності (аварійної ситуації).

Внутрішня логіка моделі реалізує знання експертів щодо попередження аварійних ситуацій. Вона представлена у продукційній формі і складається в термінах опису стану об'єкту управління.

База даних продукційних правил BP має у формалізованому вигляді знання експертів про аварійні ситуації, несправності/аварії, а також про причини їх виникнення і технології управління процесом виведення ПРХ і його обладнання на рівень чіткого раціонального холодозабезпечення холодильних камер. База даних норми BN зберігає області нормальних значень для контрольованих величина та інших необхідних даних.

Будемо використовувати комбінації чітко-нечіткого виведення знань експертів.

Інтелектуальна ситуаційна модель (рис.1) описує залежність ситуації на об'єкті від сукупності величин факторів, які домінують в оцінці ситуації з метою визначення стану об'єкту управління холодильними машинами ПРХ.

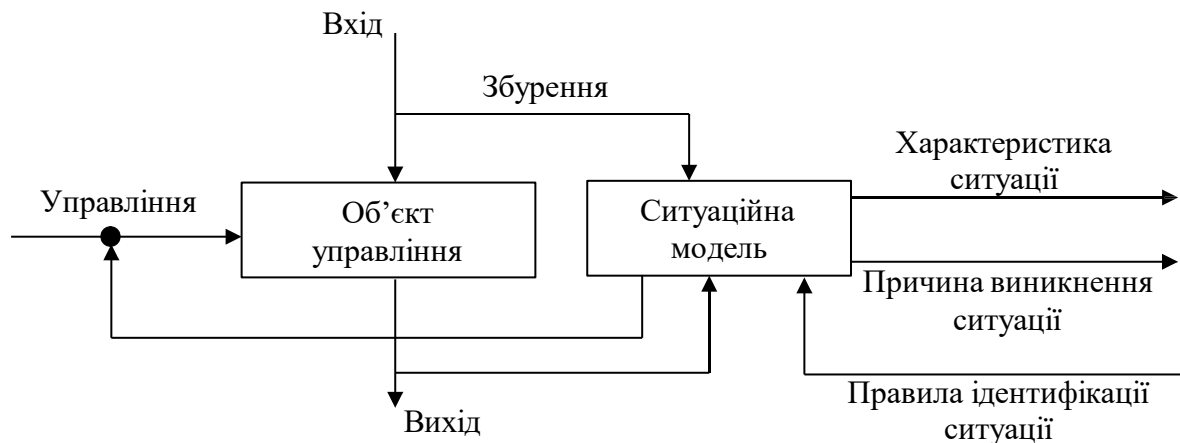


Рисунок 1 – Інтелектуальна ситуаційна модель (ИСМ) промислового холодильника

У поточний момент часу здійснюється оцінка усіх вхідних змінних ІСМ шляхом їх вимірювання або введення якісних параметрів оператором. Після цього інформація надходить в управлінський пристрій. Поточне значення кожної вхідної змінної описано відповідною нечіткою множиною, яка визначається БЗ, що зберігається в пам'яті ЕОМ.

Експертний аналіз розробленої моделі дозволяє провести її параметричну корекцію і встановити область необхідних умов, за яких точність результатів моделювання знаходиться в допустимих межах. Експертний аналіз також показав, що моделі адекватні процесу завдяки доведенню до ОНР результатів щодо відомих (еталонних) властивостей об'єкта управління.

Виникає потреба дослідження питання адаптації ІСМ до умов реального процесу холодозабезпечення холодильних камер.

Структура ІСМ складається із двох компонентів. Правила першого компоненту потрібні для завдання взаємозв'язків НС у продукційній базі правил на верхньому рівні інформаційної системи управління ПРХ. Правила другого компонента задаються один раз методом експертної оцінки (ЕО).

З метою створення бази даних і бази знань про небезпечні ситуації в процесах виробництва штучного холоду й холодозабезпечення $N - XK$ промислового холодильника проведемо аналіз виробничих ситуацій і станів обладнання процесів заморожування продуктів харчування.

Для включення нових знань в ІСМ необхідно виконати наступний алгоритм:

1. Для нової аварійної ситуації ОНР фіксує набір актуальних термів.
2. Експерт використовує одержаний набір термів і діапазони зміни експлуатаційних параметрів для формування опису нового правила.
3. Виконується перевірка на збитковість і суперечливість.
4. Правило вноситься у базу знань або проводиться його корекція.

Алгоритм оцінки експлуатаційних параметрів складається із наступних основних етапів:

1. Декомпозиція ПРХ на відповідні складові технологічних блоків.
2. Визначення основних аварійних ситуацій в системі: холодильна машина \rightarrow холодопостачання \rightarrow холодильна камера \rightarrow якість заморожуваного продукту.
3. Визначення нормальних значень робочих характеристик процесу холодозабезпечення холодильних камер ПРХ.
4. Визначення можливих причин і варіантів дій щодо усунення несправностей.
5. Визначення взаємозв'язків несправностей та їх причин для відповідної комбінації експлуатаційних параметрів.
6. Створення бази даних можливих аварійних ситуацій для кожної несправності.

З метою опису ситуації в ПРХ експертами задаються правила продукційної бази знань у такому вигляді:

«Якщо ($P = P1M$ та $P = P2M$ і... і $P = PKM$), тоді ($PR = PR1M$ та $SP = SP1M$) або ($PR = PR2M$ та $SP = SP2M$), ..., або ($PR = PRLM$ та $SP = SPLM$)»,

де PR – технологія попередження або усунення несправностей.

Наприклад: «Якщо (висока температура нагнітання пару компресором, найбільш високий перегрів пару), то (причина – недостатній рівень подачі води до сорочки компресора) або (причина – засолення рідинного трубопроводу або рідинної лінії та дії (дорівнює) = перевірити стан регулюючого вентиля або рідинної лінії)».

Для однієї і тієї ж ситуації, у загальному випадку, може бути декілька способів усунення причин цього відхилення і тому, для вказівки причини несправності з невеликою ймовірністю, у продукційних правилах пропонується використати коефіцієнт упевненості K_c ,

який є суб'єктивною оцінкою фахівця-експерта щодо домінуючої ймовірності розглянутої причини в конкретній аварійній ситуації, а також виконати перевірку на збитковість і достовірність. Значення коефіцієнта упевненості K_C розташовується на інтервалі $[0,1]$ можуть бути визначенні методом експертних оцінок [10]. Для кожного експлуатаційного параметра (рис. 2), який визначає аварійні ситуації, існують зони небезпечних значень H та L .

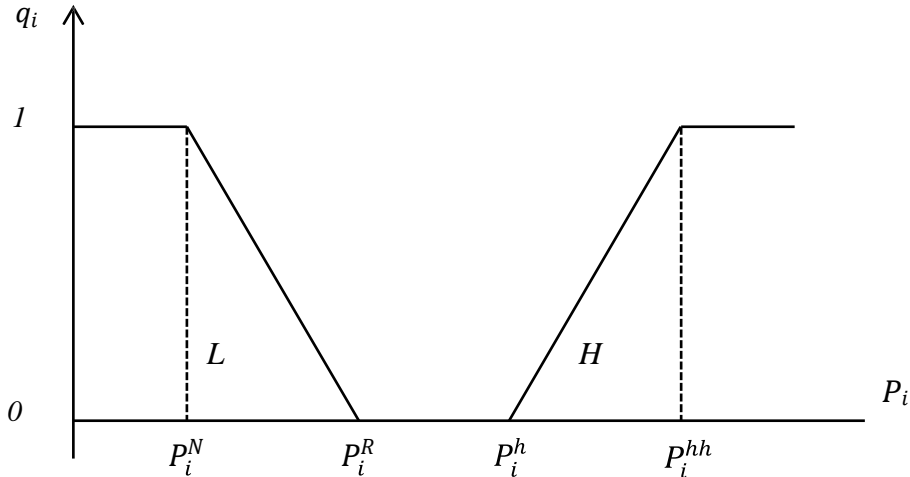


Рисунок 2 – Параметричні показники

$$q_i = \frac{P_i - P_i^h}{P_i^{hh} - P_i^h}; \quad q_i = \frac{P_i^l - P_i}{P_i^l - P_i^h} \quad (2)$$

За значеннями параметричного показника ОПР приймає рішення про безпеку виникнення аварійних ситуацій в умовах холодозабезпечення холодильних камер ПРХ.

Безмірна величина q є критерієм безаварійності і відображає поточні значення параметру P_i , $1 < i < n$, характеризує одну або дві зони несприятливих значень. З рисунку і моделі (2) визначаємо:

P_i – значення параметра поточні;

P_i^h , P_i^l – значення параметра попереджувальні;

P_i^{hh} , P_i^{ll} – значення параметра межові.

Припустимо значення величини q , близьке до нуля, визначає безпечний рух технологічного процесу заморожування продукції харчування.

Перейдемо до розробки методики ідентифікації аварійних ситуацій і передбачимо у ній наступні кроки:

1. Множину значень параметрів стану, вимірюваних за допомогою датчиків, з яких надходять на вхід ІСОАС:

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_Q\}, \quad (3)$$

де Q – кількість параметрів.

Множина X надходить на вхід у ІСОАС дискретно через визначенні проміжки часу T . Період часу T є таким, що піддається налаштуванню.

Після цього із множини X виділяється множина параметрів групи A :

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_w\}, \quad (4)$$

де w – кількість параметрів.

2. Для параметрів групи A визначається швидкість їх зміни:

$$V_i = (a_i^K - a_i^{K-1})/T, \quad (5)$$

де K – порядковий номер такту опитування датчиків.

3. Для параметрів групи A визначення часу, за які значення параметру може досягти критичного значення при тій же швидкості зміни параметра:

$$\tau_j = (a_j^{cr} - a_j^K)/V_j, \quad (6)$$

де a_j^{cr} – критичні значення для j -го параметру, при якому спрацьовує ПАЗ. Якщо $\tau_j \leq \tau_{jcr}$, де τ_{jcr} – критичний час, щодо можливого виникнення аварійної ситуації, є параметром настроювання, то ІСОАС оцінює ситуацію, як АС з вказівкою ознаки несправності.

4. Для усіх параметрів стану визначаються прогнозуємо значення методом екстраполяції:

$$x_i^P = x_i^K + (x_i^K - x_i^{K-1}), \quad (7)$$

де x_i^P – прогнозуємо значення для i -го параметра.

5. Прогнозовані значення параметрів стану порівнюються з нормами:

$$P_L = (X^P, NR_i), \quad (8)$$

де NR_i – діапазон нормальних значень для i -го параметра, визначений на основі правил безпечної експлуатації ПО, технологічного регламенту, інструкцій заводу – виготовлення, а також експертних значень. Діапазон NR_i визначається граничними значеннями $NR_i \min$ та $NR_i \max$.

6. Після порівняння з нормами в робочу пам'ять ЕОМ в режимі реального часу заносять ознаки несправностей $P_{i \min}$ та $P_{i \max}$, які визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{якщо } x_i^P \geq NR_{i \max} \text{ і } \Delta x_i > 0, \text{ тоді } P_i &= P_{i \max}, \\ \text{якщо } x_i^P \leq NR_{i \min} \text{ і } \Delta x_i < 0, \text{ тоді } P_i &= P_{i \min}, \end{aligned}$$

де $\Delta x_i = x_i^K - x_i^{K-1}$.

Наприклад, для параметра «температура на вході з компресора $N_1 \geq t_{n1}$ », для якої, в базі нормативних даних, є граничні значення $NR_{i \min}$ та $NR_{i \max}$, ознаку несправності встановлюємо таким чином:

якщо $t_{n1} \geq NR_{i \min}$ та $\Delta t_{n1} > 0$, то P_i = «висока температура на вході з компресора N_1 »;

якщо $t_{n1} \leq NR_{i \min}$ та $\Delta t_{n1} < 0$, то P_i = «низька температура на виході з компресора N_1 ».

7. Проводиться обробка правил, яка визначає причину АС, варіанти їх усунення та пропонується набір рішень.

Розроблену методику можливо використати для оцінки, також, вихідних показників якості замороженої продукції, для цього сформована база продукційних правил, яка містить правила в кількості 327, у тому числі 106 правил відносяться до оцінки можливих АС, 233 – дозволяють визначати причини АС і варіанти їх усунення, а також, підготовлена нормативна база.

Розглянемо архітектуру ІСОАС та процедуру її впровадження в АСУТІІ ПРХ. Будемо вважати, що ІСОАС є інтегровальним шаром захисту, який значно скорочує ризики аварійних ситуацій і знаходиться перед системою протиаварійних засобів захисту (ПАЗ) за умови, що загальний коефіцієнт захисту системи нижче 0,2. Розглянемо більш детально роль цього коефіцієнту і математичну модель роботи комплексу безпеки ХМПРХ і ПАЗ, які є марковським процесом $\eta(t)$ [11], який для будь-якого $t \in [0, T]$ визначається виразом:

$$\eta(t) = \xi_{k(t)}(t), \quad (9)$$

$k(t)$ – ціле число з множини $\{1, 2, \dots, n\}$;
 $\eta = T/\tau$ визначається за умови:

$$k(t) = K, \text{ якщо } t \in [(k-1)\tau, k\tau]. \quad (10)$$

Тоді $\xi_k(t) = \xi(a^{(k)}, A^{(k)}, t)$ – це однорідний марковський процес, який віднесено до інтервалу часу $[t_k - 1, t_k] = [(K - 1)\tau, K\tau]$, T – час експлуатації, τ – період між контрольними перевірками. Цей визначається вектором початкового розподілення та матрицею ймовірності переходів $A^{(k)}$, де $a^{(k)} = (a_i^{(k)}, \dots, a_s^{(k)})$, $\Lambda^{(k)} = (a_{ij}^{(k)})$, а $\lambda_{ij}^{(k)}$ – частота переходу і стану i в стан j , де: $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, 5$.

Під поняттям ризику експлуатації ХМ ПРХ приймаємо частоту потрапляння його технологічного процесу виробництва холоду в критичну зону. Якісний показник ефективності роботи системи ПАЗ щодо зниження цієї частоти є КСР(ф), який дорівнює відношенню частоти вхідних запитів d до інтенсивності h запитів на виході ПАЗ. Тут h – середня частота потраплянь системи в стан безумовної АС (п'ятий стан). Значення h при відомій ймовірності $P(T)$ визначається, як:

$$h = \frac{-\ln(1 - (P(T)))}{T}, \text{ тобто } \Phi = \frac{-dt}{\ln(1 - P(T))}. \quad (11)$$

Тут використані наступні лінгвістичні змінні, які характеризують п'ять станів, в яких може перебувати холодильна машина ПРХ.

Ω_1 – працездатний стан;

Ω_2 – виникнення при експлуатації ПАЗ АС (працездатний стан ХМ, відмова САР холодопродуктивності та холодозабезпечення ХК ПРХ);

Ω_3 – виникнення при експлуатації ХМ аварійних ситуацій, пов'язаних з очікуваними відмовами (працездатний стан ХМ, небезпечні спрацювання ПАЗ у робочому стані, відмова ПАЗ, які визначені власне діагностикою);

Ω_4 – поява при експлуатації ХМ ПРХ аварійних ситуацій, пов'язаних з появою порушень (режим роботи ХМ з потраплянням одного або декількох технологічних параметрів холодозабезпечення в критичну зону за рахунок нерозпізнаних відмов);

Ω_5 – виникнення при експлуатації ХМ безумовної чіткої АС у передаварійному стані через нерозпізнані відмови ПАЗ.

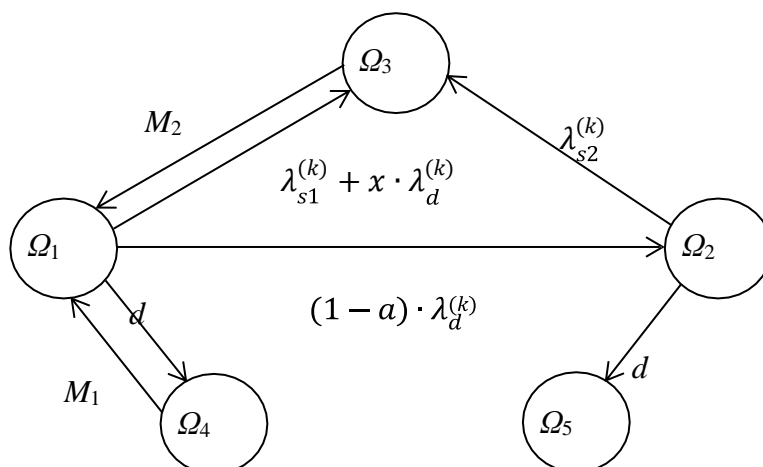


Рисунок 3 – Граф безпечності експлуатації ХМ ПРХ

Теоретико-множинний опис системи безпеки СКз АСУТП ПРХ може бути представлено у вигляді СК:

$$\{X, d, \lambda_d, a, \lambda, \lambda_s, \Phi\}, \quad (12)$$

де X – інтенсивність вхідних запитів системи безпеки;
 d – інтенсивність вхідних запитів на вхід ІСОАО;
 λ_d – інтенсивність переходу ПАЗАС в стан відмови;
 λ – відмови, що виявленні самодіагностикою;
 λ_s – інтенсивність хибних (несправних) відключень системи заморожування;
 Φ – коефіцієнт зниження ризику (КЗР).

Для візуалізації продукційних правил оператору-диспетчеру (ОПР) ІСОАО виконується побудова діаграми взаємозв'язків (ДВ) можливих несправностей конкретно СПО відповідно розробленої бази правил. На рис. 4 наведена блок-схема оцінки несправності «Високий нагрів підшипників компресорів».

Алгоритмічне забезпечення діагностичної системи оцінки стану обладнання холодильних машин – холодозабезпечення холодильних камер ПРХ. Серед них найважливішими є:

- алгоритм опитування датчиків. Опитування датчиків виконується циклічно по кільцевому одно контурному маршруту з різними періодами T ;
- алгоритм первинної обробки даних. Визначення дійсного значення параметру за результатами вимірювання.

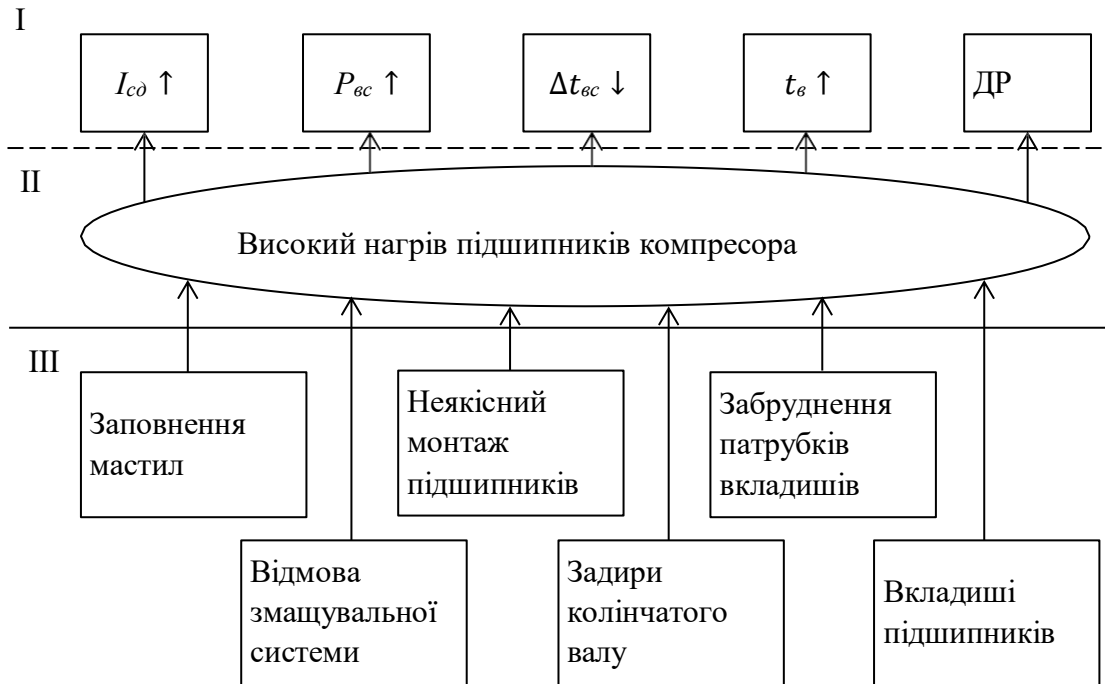


Рисунок 4 – ДВ для АС «Високий рівень підшипників компресора»

Нехай x_d – дійсна величина, y_d – показники датчика, тоді $y_d = u(x_d)$. Задача алгоритму – одержати цифрові значення.

I – рівень сукупностей параметрів, які впливають на дану АС або є її наслідком;

II – рівень типу АС;

III – рівень сукупності причин, які є джерелом даної несправності;

стрілки поряд з позначеннями показують збільшення (зменшення) параметрів;

I_{cd} – сила струму в двигуні компресора, А;

P_{vc} – тиск на всмоктування компресора, мПа;

Δt_{vc} – температура пару, що нагнітається °С;

t_θ – перегрів на всмоктування в компресор, °С;

ДР – брязкіт підшипників групи поршневих компресорів.

ДВ характеризують наявність різних взаємних впливів між контрольованими параметрами та причинами, які визивають дану АС. Сукупність цих діаграм дозволяє у подальшому згенерувати список можливих нештатних експлуатаційних ситуацій для кожної несправності та формалізують знання експертів про фактори, які впливають на розвиток аварійних експлуатаційних ситуацій у вигляді продукційних правил.

Перевірку розроблених алгоритмів та бази знань було здійснено на реальному промисловому об'єкті. Для цього було змодельовано:

– нештатні аварійні ситуації;

– масиви значень робочих параметрів ХМ в стаціонарних режимах для шести термодинамічних циклів, при трьох температурах кипіння (-10, -30 і -40 °С) та двох температурах конденсації (+30°С і +45°С);

– для означених несправностей із розробленої БЗ змодельовані НС зі зміною експлуатаційних параметрів.

Параметри підбирались, як ті, що впливають на конкретну несправність, так і ті, від яких вона залежить.

Для перевірки на збитковість результати роботи системи фіксувалися, після чого була проведена відповідна корекція БЗ і ПЗ. Це збільшило якість розпізнавання АС до 98,8 %.

Інтелектуальна система розпізнавання АС (рис. 5) функціонує під управлінням ОС родини Windows, яка розроблена засобами середовища програмування MS Visual-Studio NET 2012 на мові Visual C++. База даних створена з використанням СУБД MS SQL Server 2012. В ІСОАС використані контролери АК2 фірми «Danfoss».

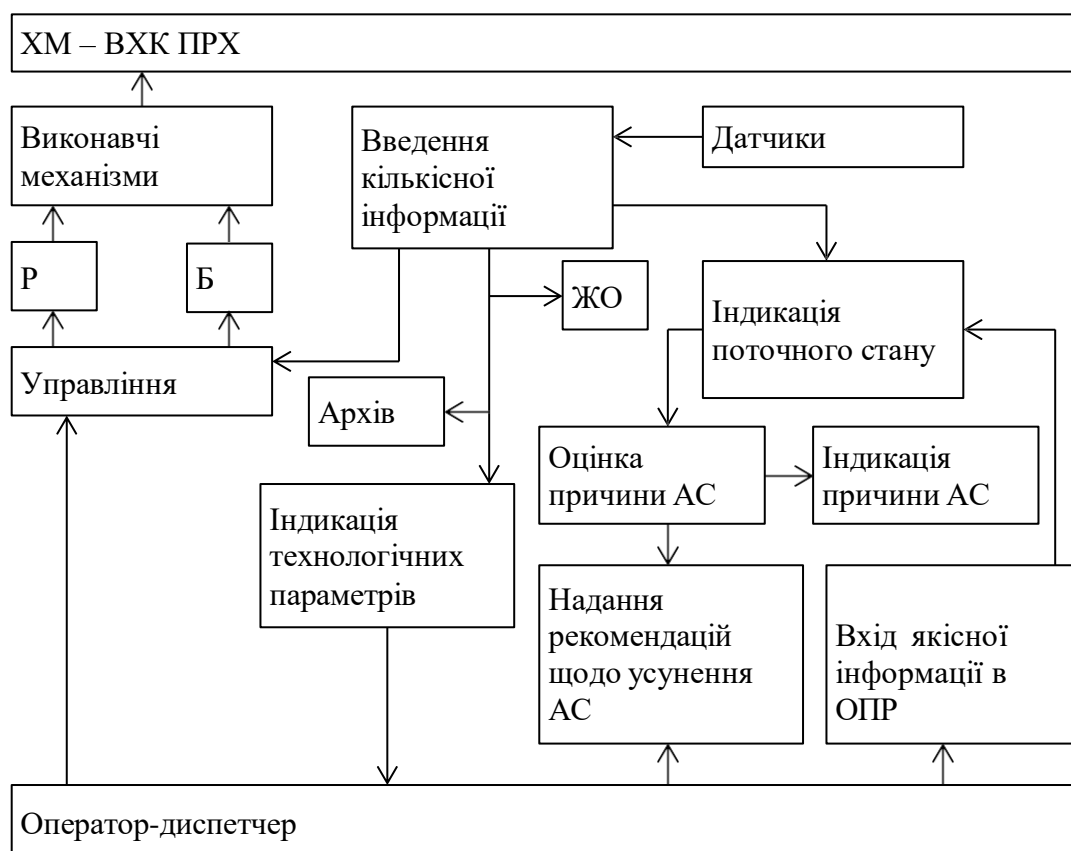


Рисунок 5 – Схема функціонування ІСОАС

Р – регулятор, Б – блокування, ЖО – журнал оператора, ХМ-ВХК – холодильна машина випарника камери холодильної ПРХ.

Висновки. Експериментальні дослідження, виконані на промисловій установці в лабораторії кафедри ЗІДО ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського, довели, що в системі ІСОАС з АСУТП холодильного підприємства можна отримати найкращі результати швидкодії алгоритмів на реакцію розпізнавання аварійних ситуацій та мінімізації викидів CO₂ у навколишнє середовище.

Розроблена система має такі функціональні переваги:

- швидкодію алгоритмів розпізнавання АС та захисту обладнання від аварій;
- можливість візуалізації аварійних ситуацій ОПР в реальному масштабі часу та надання рекомендацій операційному персоналу щодо пришвидшеного подолання аварійної ситуації;
- гнучка схема ІСОАС опису і введення правил установки.

На основі проведеного тестування зроблено висновок, що ІСОАС є найбільш ефективним засобом при рішенні задач ідентифікації аварійних ситуацій в режимі реального часу.

Список літератури

1. System Analysis & Intelligent Computing: Theory and Applications. Edited by: Michael Zgurovsky, Nataliya Pankratova. Cham, Switzerland: Springer, 2022. 199 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94910-5>.
2. Згуровський М. З. Сценарний аналіз як системна методологія передбачення. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2002. № 1. С. 7–38.
3. Інформаційне забезпечення систем прийняття рішень в економіці, техніці та організаційних сферах: колективна монографія. Під заг. ред. Л. М. Савчук. Донецьк: LONDON-XXI, 2013. 592 с.
4. Сухенко В. Ю., Сухенко Ю. Г., Муштрук М. М. Показники надійності обладнання харчових виробництв. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2016. № 4. С. 12–16.
5. Сухенко Ю. Г., Литвиненко О. А., Сухенко В. Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв. Київ: НУХТ, 2010. 547 с.
6. Остапенко О. В., Зімін О. В., Подмазко І. О., Хмельнюк М. Г. Шляхи підвищення енергоефективності холодильної установки підприємства харчової промисловості. *Холодильна техніка та технологія*. 2016. Т. 52, № 6. С. 4–10.
7. Ощипок І. М., Онишко Л. Й. Модернізація та переоснащення холодильного обладнання. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2023. № 34. С. 46–54. <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2023-34-06>.
8. Institut für Kälte- Klima- und Energietechnik GmbH (Hrsg.) Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik: Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften. Berlin: VDE Verlag, 2018. 874 p.
9. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision making with the analytic network process. Economical, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. New York City : Springer, 2006. 288 p.
10. Хорольський В. П., Коренець Ю. М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 557 с.
11. Piunovskiy A. B. Examples in Markov Decision Processes. Liverpool, UK: Imperial College Press. 2012. 308 p.

References

1. Zgurovsky, M., Pankratova, N. (2022). System Analysis & Intelligent Computing: Theory and Applications. Edited by Michael, Nataliya Pankratova. Cham, Switzerland: Springer, 199 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94910-5>.
2. Zgurovskiy, M. Z. (2002). *Stsenarnyi analiz yak systemna metodolohiia peredbachennia* [Scenario analysis as a systematic forecasting methodology], *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii* [System research and information technologies], 1, pp. 7-38.
3. Savchuk, L. M. (2013). *Informatsiine zabezpechennia system pryiniattia rishen v ekonomitsi, tekhnitsi ta orhanizatsiinykh sferakh* [Information support of decision-making systems in the economy, technology and organizational spheres], Donetsk, LONDON-XXI. 592 p.
4. Sukhenko, V. Yu., Sukhenko, Yu. H., Mushtruk, M. M. (2016). *Pokaznyky nadiinosti obladnannia kharchovykh vyrobnytstv* [Indicators of reliability of food production equipment], *Standartyzatsiia. Sertyfikatsiia. Yakist* [Standardization. Certification. Quality], 4, pp. 12–16.
5. Sukhenko, Yu. H., Lytvynenko, O. A., Sukhenko, V. Yu. (2010). *Nadiinist i dohovichnist ustatkuvannia kharchovykh i pererobnykh vyrobnytstv* [Reliability and durability of equipment of food and processing industries], Kyiv, NUFT, 547 p.
6. Ostapenko, O. V., Zimin, O. V., Podmazko, I. O., Khmelniuk, M. H. (2016). *Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti kholodylnoi ustanovky pidpriemstva kharchovoi promyslovosti* [Ways to increase the energy efficiency of the refrigerating plant of the food industry enterprise], *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia* [Refrigeration equipment and technology], 52 (6), pp. 4–10.

7. Oshchypok, I. M., Onyshko, L. Y. (2023). *Modernizatsiia ta pereosnashchennia kholodylnoho obladnannia* [Modernization and re-equipment of refrigeration equipment], *Visnyk LTEU. Tekhnichni nauky* [Bulletin of LTEU. Technical sciences], 34, pp. 46–54. <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2023-34-06>.

8. Institut für Kälte- Klima- und Energietechnik GmbH (Hrsg.). (2018). Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik : Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften, Berlin, VDE Verlag, 874 p.

9. Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2006). Decision making with the analytic network process. Economical, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks, New York City, Springer, 288 p.

10. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M. (2023). *Avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv kharchovykh tekhnolohii* [Automation of production processes of food technologies], Kryvyi Rih, DonNUET, 557 p.

11. Piunovskiy, A. B. (2012). Examples in Markov Decision Processes, Liverpool, UK, Imperial College Press, 308 p.

Objective. *The purpose of the article is to develop recommendations for increasing the safety of complex industrial facilities due to early recognition of emergency situations by identifying their operational parameters.*

Methods. *The article uses fuzzy methods for developing a model and methods for recognizing emergency situations, accidents and optimizing the operation of refrigerating machines, cold supply of food freezing equipment. Among the fuzzy methods, a fuzzy algebra of binary evaluations of the reliability of refrigerating machine equipment is used: compressors, condensers, control systems, energy consumption systems, and evaporators.*

Results. *In order to create a database and a knowledge base about dangerous situations in the processes of artificial cold production and cold supply of an industrial refrigerator, an analysis of production situations and equipment conditions of food freezing processes was carried out.*

The proposed algorithm for evaluating operational parameters consists of such main stages as the decomposition of the enterprise - an industrial refrigerator into the corresponding components of technological units; determination of the main emergency situations in the system; determination of the normal values of the operating characteristics of the cooling process of the refrigerating chambers of the refrigerator company; determination of possible causes and options for troubleshooting; determination of fault relationships and their causes for the appropriate combination of operating parameters; creating a database of possible emergency situations for each malfunction.

The developed system for recognizing emergency situations has the following advantages: the speed of algorithms for recognizing emergency situations and protecting equipment from accidents; the possibility of visualizing emergency situations to the operator in real time and providing recommendations to the operational staff for faster emergency response; flexible scheme of ISOAS description and introduction of installation rules.

Based on the conducted testing, it was concluded that ISOAS is the most effective tool for solving the problems of identifying emergency situations in real time.

Keywords: *refrigerator, accident, compressor, algorithms, neuronum mathematics, accident recognition.*

*Хорольський В. П., д-р техн. наук,
професор
Коренець Ю. М., старший викладач
Перекрест В. В., асистент
Нікітін Д. О., здобувач ВО ступеня
магістра*

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

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РОТОРНИХ ПЕЧЕЙ ХЛІБОЗАВОДІВ

UDC 681.51:(664.6/.7:664.655.041)(045)

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of
Engineering Science, Professor
Korenets Yu. M., Senior Lecturer
Perekrest V. V., Assistant Professor
Nikitin D. O., a graduate of a master's
degree*

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

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT RELIABILITY ASSESSMENT SYSTEMS ROTOR OVENS OF BAKERY FACTORIES

Мета. Метою статті є дослідження питань підвищення працездатності технологічного обладнання для виробництва хлібобулочних виробів із заданими характеристиками якості за рахунок його захисту від аварій.

Методи. З метою моделювання процесів випічки хліба та впливу експлуатаційних відмов елементів роторної печі на працездатність усієї технічної системи виробництва хліба запропоновано використати формалізовані методи побудови та аналізу причинно-наслідкових зв'язків між подіями (відмовами) та вихідними показниками якості системи. Використані методи є графічними і дозволяють моделювати можливі події, несправності, а також дослідити ймовірність виникнення аварій, які з'являються в роторних печах. Після цього виконується нечітке моделювання стану надійності роторних печей (розробляється нечітка база знань, лінгвістичні змінні, які задані на універсальних множинах, їх термів множини, функції належності, правила в нечіткій базі) та проектується інтелектуальні системи керування захисту роторних печей від аварій.

Результати. Розроблена система оцінки надійності обладнання з моніторингом стану енергетичних чинників спроектована з урахуванням умов місцевих хлібо заводів. Основною ознакою такої системи є алгоритми та системи моніторингу, розроблені відповідно до положення надійності складних систем, які включають функції розпізнавання аварій, аварійних ситуацій, що виникають у процесі експлуатації роторних печей. Головну увагу в системі спрямовано на розробку алгоритмів контролю забезпечення роторних печей енергоносіями (газом, електроенергією) та їх резервування. У статті обґрунтовано теоретичні основи оцінки рівня надійності обладнання роторних печей, газопостачання пекарних камер

© Хорольський В. П., Коренець Ю. М.,
Перекрест В. В., Нікітін Д. О.

та заходи з оптимізації їх роботи. Розроблено методи і алгоритми оцінки працездатності роторних печей та їх робочих блоків.

Моделювання процесів виробництва хліба та вплив експлуатаційних відмов елементів роторних печей на працездатність усієї технічної системи обладнання хлібозаводу виконано з використанням формалізованих методів виявлення причинно-наслідкових зв'язків між подіями (відмовами) та вихідними показниками технологічного обладнання.

Моніторинг стану обладнання роторних печей і розробка автоматизованої системи управління технологічними процесами на базі нечіткого виведення інформації про працездатність основних блоків роторних печей дозволяє операторам на базі нейронечіткого керування комплексом одержувати швидкодіючу оцінку працездатності обладнання хлібозаводів за критерієм втрати якості хлібопродуктів.

На основі впровадження інтелектуальних підсистем діагностики буде досягнуто: підвищення ефективності роботи обладнання роторних печей за рахунок оптимізації параметрів газопостачання та за рахунок зниження кількості відмов до 25% за рік; виконання переходу від стратегії планового сервісного обслуговування до стратегії обслуговування обладнання хлібозаводів за фактичним технічним станом; забезпечення зниження витрат на ремонт і післяаварійне обслуговування роторних печей хлібозаводів.

Ключові слова: роторна піч, моделі, причинно-наслідкові зв'язки, діагностика, система керування.

Постановка проблеми. Головне завдання хлібопекарної промисловості Придніпровського регіону в умовах впровадження воєнного стану в Україні – стабільне забезпечення населення високоякісними хлібобулочними виробами. Це завдання тісно пов'язане не лише з логістикою сировини і персоналу, але, й із постачанням електрики, газу, води. Важливим постає також й екологічний аспект організації такого виробництва, як-то забезпечення мінімізації викидів CO₂ у довкілля.

Актуальним завданням сьогодення також є постачання місцевого населення хлібобулочними виробами лікувально-профілактичного та/або дієтичного призначення для підтримки здоров'я людей у складних умовах життя, роботи, військової служби.

З цією метою криворізькі підприємства ПРАТ «КРИВОРІЖХЛІБ», ТОВ «КРИВОРІЗЬКИЙ ХЛІБОЗАВОД №1», ПАТ «ХЛІБ», ПРАТ «УКРАЇНСЬКІ ХЛІБНІ ТРАДИЦІЇ» та інші заводи регіону за останні місяці накопичили значний досвід з модернізації обладнання та забезпечення його надійної роботи в періоди обмежень постачання енергоресурсів.

Для світової практики виробництва хліба в останнє десятиріччя характерним є використання сучасного технологічного обладнання відомих фірм GOSTOL (Словенія), FRITSCH, DIOSNA, HARTMAN (ФРН), GLIMEK (Швеція), KONIG (Австрія), яке на сьогодні має високий рівень автоматизації, побудованої на базі SCADA-систем. Таке обладнання розраховане на однорідну за якісними показниками сировину та використання поліпшувачів і підсилювачів тіста.

У свою чергу, значення якісних показників хлібобулочних виробів залежить:

- 1) від стабільної і надійної роботи технологічного обладнання;
- 2) від рівня знань технологів-операторів виробничих процесів;
- 3) від рівня інформаційного та алгоритмічного забезпечення, інтелектуально-інформаційної підтримки прийняття рішень особи, яка приймає оперативні рішення.

Забезпечити вищенаведені умови можливо за рахунок підвищення рівня інтелектуалізації керування обладнанням в періоди обмежень постачання енергоносіями та віялових відключень електрики, використання спеціального програмного забезпечення, своєчасного розпізнавання аварійних ситуацій та аварій, регулярного виконання персоналом технологічного обслуговування обладнання хлібопекарського виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями автоматизації процесу виробництва хліба в Україні традиційно займається багато вчених і наукових колективів із

різних закладів вищої освіти. На розвиток цього напрямку наукових досліджень значною мірою вплинули роботи вітчизняних вчених А. П. Ладанюка, І. В. Ельперіна, Б. М. Гончаренка, В. Г. Трегуба, С. М. Шведа, С. С. Шаруди, В. Д. Кишенька [1-5] та багатьох інших.

Вивчені джерела, пов'язані із обраним напрямом досліджень, дали змогу виявити проблему використання існуючих методів і методик прогнозування показників мікроклімату пекарних камер для випікання різних сортів хліба, прогнозування надійності роботи роторних печей у темпі з процесом, вибір оптимальної системи завантаження тістових заготовок в пекарню камеру з визначенням і врахуванням моментів виникнення відмов (збурень).

Поряд із цим визначено, що дослідження несправностей блоків роторної печі може проводитись експертами за умов нечіткої інформації про технологічний процес виробництва хліба. Це важливе питання будемо розглядати на основі системного підходу, оскільки роторна піч віднесена авторами згаданих праць до складних, нелінійних динамічних систем із слабо структурованими чинниками керування.

Метою статті є дослідження питань підвищення працездатності технологічного обладнання для виробництва хлібобулочних виробів із заданими характеристиками якості за рахунок його захисту від аварій.

Виклад основного матеріалу. У процесі аналітичного аналізу технологічного процесу випікання хлібопродуктів у роторних печах нами визначено, що роторна піч працює в режимах постійних збурень, завад, у тому числі і за рахунок помилок персоналу, неточностей вимірювання технологічних параметрів. Із-за цього різко зменшується можливість використання детермінованих і статичних моделей.

У таких умовах високу ефективність показали нечіткі моделі [6, 7], які мають низьку чутливість до завад і погрішностей вимірів якісних параметрів. Також вони характеризуються можливістю швидко налаштуватися під конкретні умови технологічного процесу, як-то надходження нової партії борошна або інших інгредієнтів, зміна якості газу, віялові відключення електрики тощо.

На основі вищесказаного можна констатувати, що розробка методу оцінки працездатності роторних печей хлібозаводу, який дозволив би оператору за допомогою інтелектуальних систем підтримки прийняття оперативних рішень (ІСППОР) оперативно прогнозувати умови і час появи відмов, визначати їх вплив на основні сукупності параметрів термообробки у процесі виробництва хліба, отримувати статистичні дані про відмови вузлів обладнання роторних печей (РП), можлива за рахунок розробки інтелектуальної системи розпізнавання аварій та аварійних ситуацій.

Вирішення поставленої проблеми можливе за рахунок використання сукупності таких способів оброблення нечіткої інформації, як теорія нечіткої логіки, експертних систем, нейронних мереж та інтелектуальних технологій [8].

Для умов системи виробництва хліба на хлібозаводах регіону до найбільш відповідальних елементів технічної системи обладнання роторної печі експертна група проекту віднесла пекарню камеру, мотор-редуктор, систему енергопостачання, парогенератор, газовий мультиблок, систему витяжної вентиляції.

Завдання персоналу в період експлуатації роторної печі полягає в створенні та підтримуванні нормативних температур щодо процесу випікання хліба, температурних режимів і забезпечення заданих параметрів мікроклімату пекарної камери. Ці складові позначимо у вигляді множин U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 .

Спочатку розробимо моделі причинно-наслідкових зв'язків (дерево відмов) обладнання роторної печі. Ці моделі наведені на рисунках 1-5.

При цьому в основі механізму розповсюдження збурень по структурі системи розповсюджена думка експертів команди проекту, що імпульс впливу відмови елемента накопичується і зменшується як показники надійності окремих елементів системи обладнання роторної печі хлібозаводу, так і системи в цілому [4, 8].

$$U = \sum f(V_{ij}) = f(V_{1j}) + f(V_{2j}) + f(V_{3j}) + f(V_{4j}) + f(V_{51j}). \quad (1)$$

U_1 – несправність (відмова) електродвигуна	V_{11} – технічний стан вентилятора	Зношення в процесі експлуатації
		Інтенсивне спрацювання опорних підшипників ротора
	V_{12} – порушення герметичності	Несправність механізмів вентилятора
		Підвищена вібрація корпусу печі
		Несправність парогенератора
		Неправильне центрування вала в корпусі
	V_{13} – втрата температури через корпус	Порушення в системі витяжної вентиляції
		Порушення технології експлуатації роторної печі
	V_{14} – втрата працездатності поворотного столу	Порушення температурних режимів
		Порушення притирання кілець тертя
	V_{15} – втрата працездатності поворотного столу	Зношення гумових кілець
		Втрата повітря через сальники запірної арматури
		Втрати герметизуючих властивостей паронітових прокладок
	V_{16} – втрата працездатності поворотного столу	Відмови (поломка) електроприводу поворотного столу
Несправності мотор-редуктора вентилятора охолодження		
Мала величина заслінок дверей		

Рисунок 1 – Дерево відмов для множини U_1 – причин несправностей (відмов) електродвигуна роторної печі

Втім найбільший вклад у сумарний ризик надходження несприятливих подій вносять елементи з множиною відмов U_1 і U_3 .

Отже, газовий мультиблок зі стабілізатором тиску газу та реле мінімального тиску газу є ключовою частиною системи надійності обладнання роторної печі. А найбільш ефективною для забезпечення безпеки є розробка технологічної карти режимів роботи печі, технологічних експлуатаційних заходів, спрямованих на зниження ймовірності і наслідків можливих відмов, пов'язаних з постачанням газу, на якість хліба.

Для прогнозування відмов теплового і газового обладнання роторної печі відзначимо особливості, які дозволяють віднести роторну піч до складних систем керування та діагностики.

Для прогнозування відмов приймаємо до уваги факт, що системи керування роторними печами, які вивчаються, є унікальними, інколи виготовлені зі специфікою виробництва хлібопродуктів із різного борошна та можуть працювати в широкому діапазоні температурного поля камери і зміни параметрів газу, з різною корозійною активністю тіста, відрізняються історією експлуатації (термін служби роторних печей, історія поточних і капітальних ремонтів), конструктивним виконанням.

Наявність планово-профілактичних ремонтів (ППР) призводить до того, що в роботі роторних печей одночасно можуть знаходитись елементи, які жодного разу не відмовляли (хоч найбільш відповідальні елементи замінювалися, незважаючи на те, що вони ще працездатні), та такі, що піддавалися відновленню після відмови за допомогою ремонту без заміни. Тому необхідно виокремити в досліджуваній системі такі компоненти роторної печі, вихід із ладу яких призведе до втрати працездатності усієї системи виробництва хліба.

У таблиці 1 наведена інформація про причини виходу із ладу відповідних елементів обладнання роторної печі, визначена на основі експертних оцінок.

		Зношення АД в процесі експлуатації редуктора
		Людський фактор – помилки оперативного персоналу
U₂ – відмови газового і електричного обладнання роторної печі	V₂₁ – несправність електрообладнання АД-ТПЧ	Несправність системи включення-виключення ТПЧ
		Несправність системи контролю АСК АД-ТПЧ
		Контроль параметрів потужності, питомих витрат
		Несправність апаратури захисту АД або ТПЧ
		Витрати електроенергії та витрати газу
		Несправності датчиків контролю
		Несправності АРМ-оператора
		V₂₂ – несправності АСК газопостачання
		Контроль виробничої ситуації
		Зниження продуктивності пекарної камери роторної печі
		Система контролю витрат газу
		Система несправності контролю постачання: газу, тиску, температури
		Несправності датчиків тиску, температури, вібрації в САК діагностиці
		V₂₃ – несправність систем автоматичного контролю температурних режимів камери роторної печі
	Зниження витрат пари для зволоження заготовок тіста	
	Контроль температурного поля камери та поверхні хліба	
	Контроль тиску газу системи газопостачання	
	Збої в системі АРМ, ПЗ, ІСПШЕ	
	Контроль температури готового продукту	
	Збої в системі промислового Інтернету-речей	
V₂₄ – контроль якості готової продукції	Збої в системі MES, ERP-розподілу продукції	
	Збої в системі оцінки якості процесів упакування	
	Несправність датчиків температури повітря	
	Збої в системі шокowego заморожування	
		Збої в системі логістики

Рисунок 2 – Дерево відмов для множини U_2 – причин відмов газового і електричного обладнання роторної печі

Таким чином, визначені найбільш відповідальні елементи в складі технічної системи: роторна піч – температурне поле пекарної камери – теплогенератор – газовий мультиблок – система вентиляції – АСУТП з інтелектуальною системою діагностики – системи газопостачання та електропостачання. У нашому випадку з метою побудови математичних моделей і алгоритмів керування процесом виробництва хліба необхідно покладатися на рекомендації експертів. Після чого, з урахуванням знань спеціалістів про ступень якості

процесу виробництва продукції та наслідків відмов обладнання роторної печі, необхідно параметрично оцінити втрати прибутку.

		Людський фактор – помилки операторів роторних печей		
	V ₃₁ – несправність обладнання парогенератора	Несправність парогенератора: зменшення продуктивності		
		Несправність вентиляторної групи: зниження тиску		
		Збої систем автоматизованого керування		
		Відсутність змащення робочих деталей редуктора		
		Відхилення тиску та температури від номінальних значень		
		Відхилення від оптимального теплового режиму зменшує продуктивність роторної печі		
		Несправність системи відключення газу	Несправність реле мінімального тиску газу роторної печі	
			Забруднення штуцерів запобіжного клапану та датчика тиску газу	
		Температурно-повітряний баланс витрат газу не відповідає нормі		
V ₃₂ – несправність газового мультиблоку	Наявність значних відхилень витрат електрики			
	Технологічні перевантаження → збільшення експлуатаційних витрат на одержання тонни хліба			
	Наявність значних відхилень витрат газу			
U ₃ – пекарна камера роторної печі	Несправність електродвигунів вентиляторів	Зміни режимів електрозабезпечення двигунів РП, ремонт виводів електродвигунів, ушкодження ізоляції вивідних кінців		
		Неузгодженість систем керування швидкістю АД-ТПЧ витяжних вентиляторів роторної печі		
		Відхилення параметрів газового мультиблоку, що знижує корисні властивості продукту та їх термін придатності		
V ₃₃ – несправність в системі витяжної вентиляції	Небажані надходження повітря від запобіжних клапанів			
	Нераціональні параметри надходження теплоти від вентиляції, пекарної камери			
	Порушення технологій зберігання продуктів харчування			

Рисунок 3 – Дерево відмов для множини U₃ – відхилень параметрів пекарної камери роторної печі

Таким чином, якість хліба і надійність обладнання роторної печі за визначенням експертів мають високі кореляційні зв'язки. Отже необхідно розробити алгоритм керування й

систему контролю та розпізнавання аварійних ситуацій та систему автоматизованого захисту від аварій.

		Розпізнавання аварійних ситуацій
	V ₄₁ – витрати газу	Технологічні порушення експлуатації
		Контроль парових пробок (утворення) і тиску
		Контроль параметрів тиску, вібрації, температури, вологи, рН, витрат газу, CO ₂
U ₄ – відмови постачання газу		
	V ₄₂ – відхилення продуктивності	Контроль відхилення поточної продуктивності
		Контроль температури
		Контроль підвищення температури

Рисунок 4 – Дерево відмов для множини U₄ – відмов у постачанні газу

	V ₅₁ – відхилення температури випікання хліба від нормованих показників	Людський фактор
		Технологічні порушення умов зберігання продукту
		Відносні затрати газу
		Вологість повітря в камері
		Температура продукту
		Час роботи печі - випікання
U ₅ – мікроклімат пекарної камери		
	V ₅₂ – відхилення параметрів мікроклімату від заданих	Параметри CO ₂
		Якість хліба (продукту)

Рисунок 5 – Дерево відмов для множини U₄ – відмов у постачанні газу

Таблиця 1 – Інформація про параметри технологічного процесу випікання хліба

Інформація надається постійно в процесі виробництва хлібопродуктів	Інформація надається на АРМ диспетчера-оператора один раз за зміну
1. Продуктивність роторної печі. 2. Витрати газу, електрики. 3. Енергетичні характеристики та температурні режими вентиляторів і мультиблоку. 4. Стан системи контролю температурних режимів. 5. Стан системи теплообмінників і теплогенератора. 6. Дані показники температурних параметрів камер для випікання хліба, печива тощо. 7. Інформація надається на АРМ оператора у вигляді строки бази даних із робочої станції оброблення даних РП хлібозаводу.	1. Тип продукції. 2. Вимірювання температури в пекарній камері роторної печі. 3. Вимірювання якості продукції в процесі надходження тістової заготовки в камеру. 4. Оптимальні режими роботи системи випікання хліба. 5. Стійкість обладнання роторної печі до збурень. 6. Дані про витрати електрики, газу, повітря тощо. 7. Дані про зупинку обладнання, параметри завантаження-розвантаження пекарної камери.

8. Параметри теплових камер-хлібозаводу. Дані про геометричні параметри та властивість продуктів харчування (робочі характеристики хліба).	8. Дані про можливі дефекти обладнання і фактичну якість продукції. Планування значення технологічних параметрів розвантаження-охолодження хліба.
--	---

Алгоритм і система розпізнавання аварійних ситуацій побудовані на основі математичної теорії нечітких множин (нечіткої логіки), коли в системі керування процесом випікання хліба в пекарній камері застосовано нейромережевий регулятор (НМ-Р) з архітектурою входів $N(e_k, Y_k)$ [8-10].

Управлінські впливи на об'єкт – роторну піч – розраховуються у відповідності з рівнянням:

$$U_k = N^{FFC}(r_k) + N^{FBC}(r_k, Y_k, U_{k-1}), \quad (2)$$

де r_k – вставка;

Y_k – вихід об'єкта, який можливо спостерігати;

U_{k-1} – управлінські впливи, які сформовані в попередній момент часу.

З метою надання динамічних властивостей НМ-Р використовуються різні кількісні параметри на вході, подання на вхідний шар нейронної мережі вставки та дискретні похідні першого і другого порядку. Також в якості входів можливо використати похідні сигнали помилки:

$$N(e_k, e'_k), N(e_k, e'_k, e''_k, \dots, e^n_k). \quad (3)$$

У цій системі НМ будуть відігравати роль розпізнавання і прогнозування якості вхідної сировини готової продукції в умовах контролю роботи мультиблоку, температури випікання хліба, відносної вологості пару у камері РП, концентрації повітря витяжної вентиляції роторної печі, а саме вмісту CO_2 . Інтелектуальна система керування температурним полем з системою нейромережевого розпізнавання і класифікації повинна забезпечувати адаптацію параметрів процесу випікання хліба в умовах врахування зміни зовнішніх умов: надходження борошна та відвантаження готової продукції.

На рис. 7 наведено приклад алгоритму керування процесом виробництва подових сортів хліба та режимів роботи роторної печі, чинниками витрат газу та електрики.

На базі розробленого алгоритму запропонуємо інтелектуальну систему керування роторною піччю, яка наведена на рис. 8.

Розроблена модель дозволяє ОПР своєчасно виявляти вплив поведінки того чи іншого параметру робочого процесу випікання хліба на зношення технічної системи роторної печі. Вона в темпі з процесом дозволяє розпізнавати відмови головних блоків роторної печі. Як показала практика експлуатації роторних печей на криворізьких хлібозаводах, на їх працездатність впливають характеристики газу (робота газового мультиблоку) та теплогенератора, що впливає певною мірою на показники надійності елементів і всієї системи в цілому [8].

Якщо в якості критерію прийняти показник Y_{np} – час надійної експлуатації елементів обладнання роторної печі, а засобами її досягнення X_E – час експлуатації, час відмови системи, кількість аварій та відмов, фізичні характеристики технічних блоків агрегатів РП, ступень зношеності, корозії. Тоді показник Y_{np} виразимо через залежність виду:

$$Y_{np} = F(X_E, A, \varepsilon), \quad (4)$$

де A – параметри технологічного процесу виробництва хліба: продуктивність, температура, вологість, контроль за надійною роботою елементів роторної печі, наявність ППР тощо;

ε – відхилення, можливі збої, людський фактор тощо.

В умовах різних режимів роботи та експлуатації роторних печей розроблена модель повинна мати здібність до навчання шляхом ідентифікації її параметрів і структурних елементів.

З метою розробки нечіткої моделі прогнозування рівня працездатності обладнання роторної печі необхідно розробити алгоритм пошуку несправностей, який зв'язує множину передумов відновлення X_E і множину появи відмов Y_{np} . Множину X_E будемо виявляти на основі

оброблення інформації про параметри технологічного процесу і подій в обладнанні роторної печі та системи газозабезпечення.

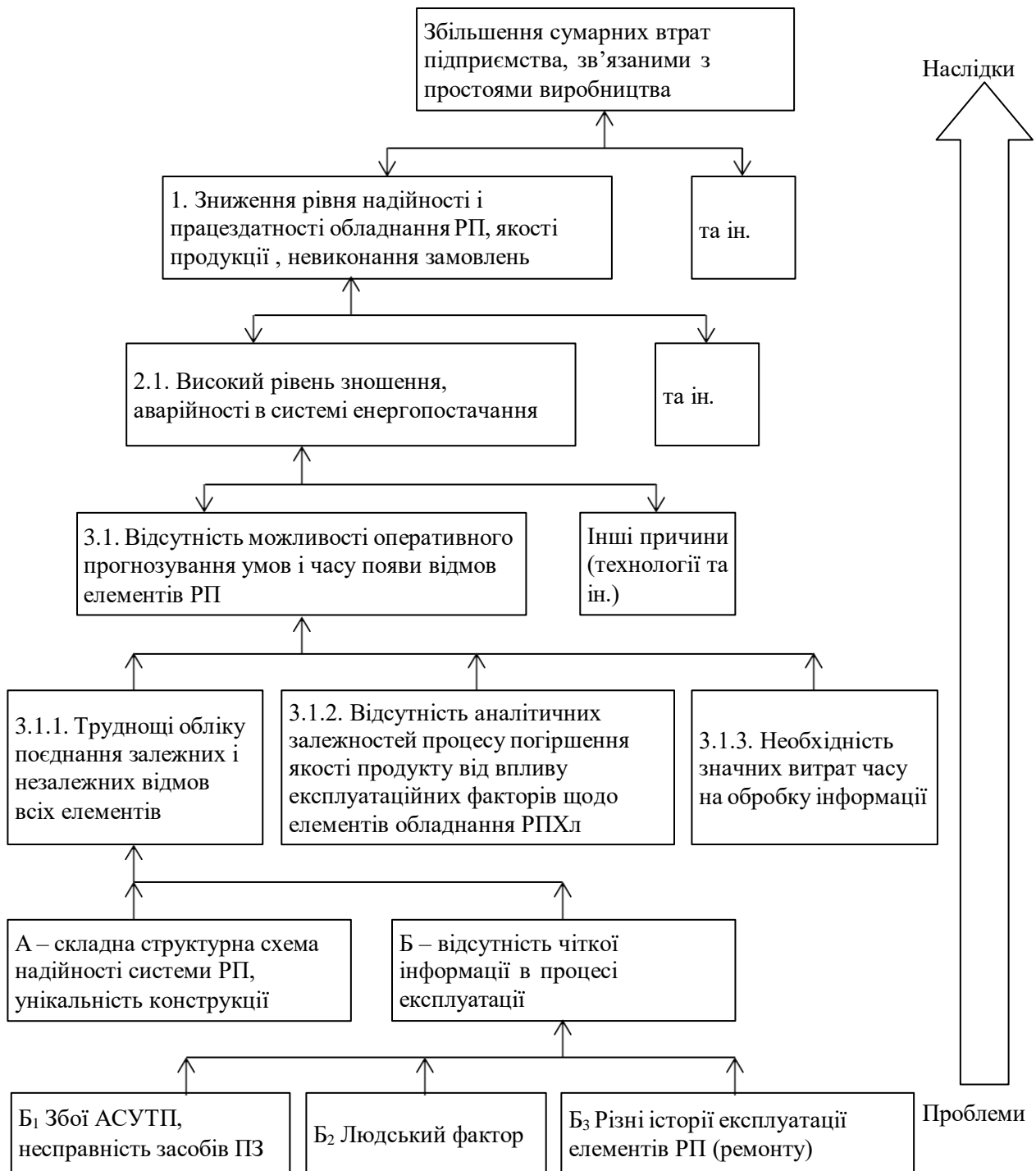


Рисунок 6 – Дерево проблемних ситуацій щодо прийняття рішення про оцінку працездатності обладнання роторної печі хлібозаводу

Джерелом вхідної інформації є АСУ-АСУТП підприємства – хлібозаводу (верхній і середній рівень АСУТП – локальні системи керування роторними печами).

Інформація надходить у вигляді станів обладнання роторної печі: витрати газу, повітря, електрики, температури випікання, параметрів якості хліба. Ці дані надходять на сервер бази даних, де зберігаються.

На першому кроці виконується визначення початкових умов для моделювання – попереднє оброблення інформації виробничих даних ділянки постачання тістових заготовок в пекарню камеру роторної печі (навчання нечіткої моделі). На цьому етапі за рахунок визначення найбільш значимих змінних і виділення областей впливу або інтервалів значень, які спричиняють той чи інший ефект, за допомогою процедури нечіткої кластеризації вдається підвищити ефективність навчання нечіткої моделі, знизити розмірність і затрати часу на її навчання алгоритмам ідентифікації.

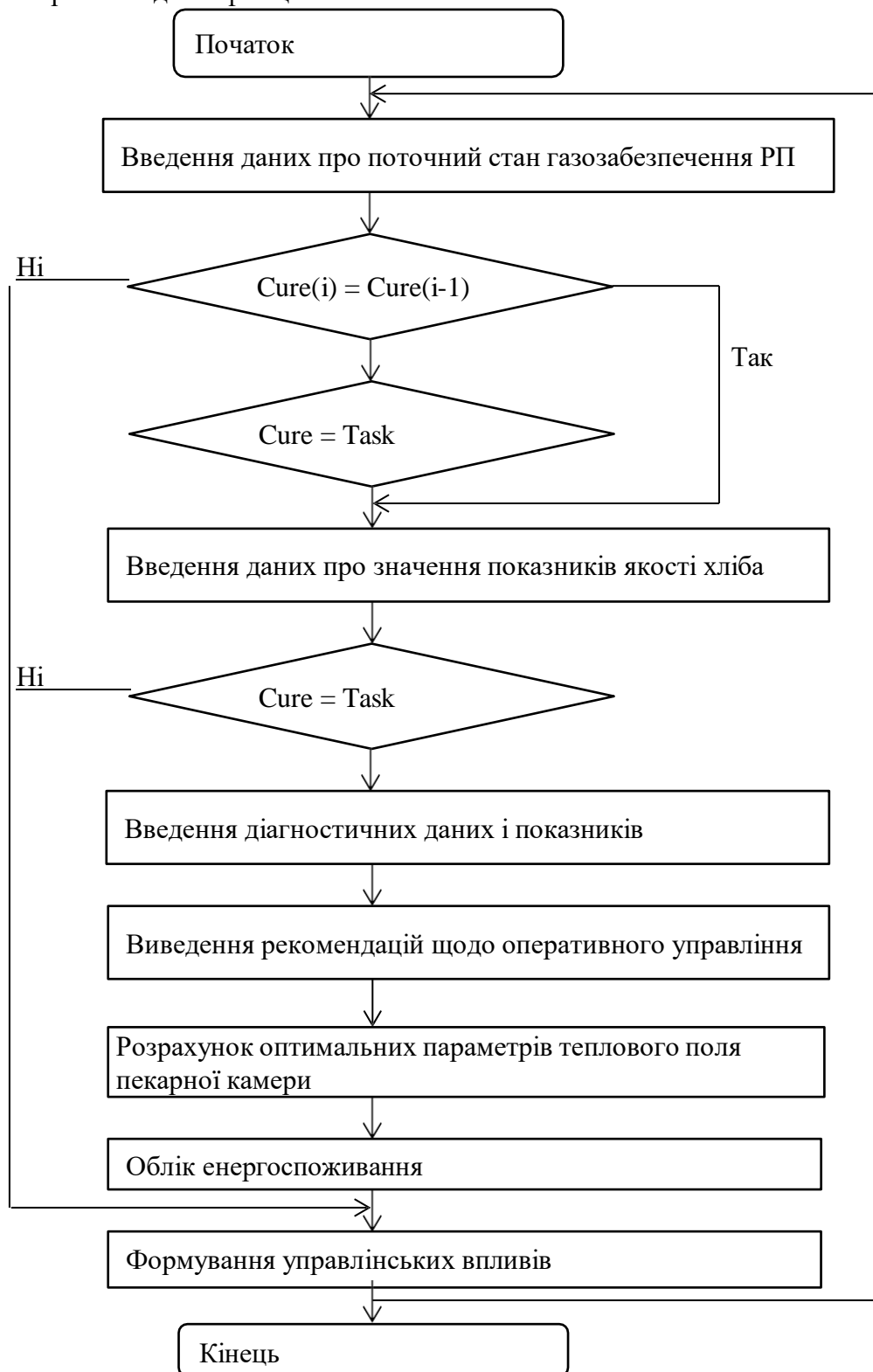


Рисунок 7 – Алгоритм керування процесом випікання хліба

Опишемо також узагальнений алгоритм прийняття рішень с точки зору надійної експлуатації обладнання роторної печі та газозабезпечення пекарних камер хлібозаводу (планування ремонтних робіт щодо технічного стану обладнання РП) в режимі реального часу, інтегрованими з АСУТП хлібозаводів. Блок-схема алгоритмів наведена на рис. 8–9.

Зібрані дані обробляються в сервері додатків, де виконується нечіткій розрахунок прогнозу і запис його в базу даних. Із сервера бази даних значення контрольованих параметрів і прогноз кількості відмовлень конкретних технічних пристроїв РП надходять на термінали робочих станцій операторів роторних печей (АРМ – оператора).

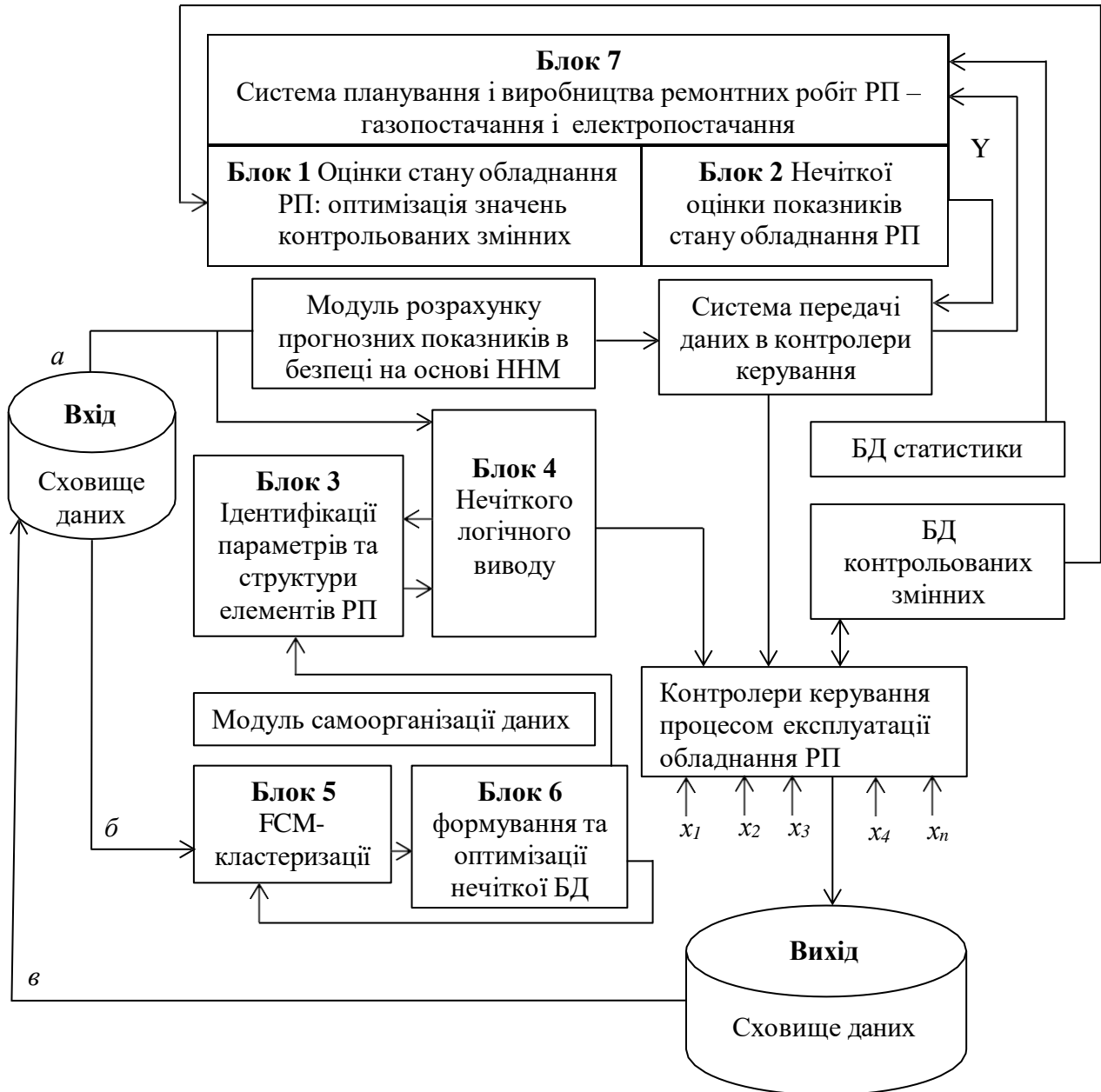


Рисунок 8 – Системна модель оцінки працездатності обладнання роторної печі

У подальшому відбувається формування нейронечіткого виведення:

1. Нечітке моделювання (нечітка база знань, лінгвістичні змінні, які задані на універсальних множинах, їх термів множини, функції належності, правила в нечіткій базі).
2. Ідентифікація нечіткої моделі (коефіцієнтів лінійних рівнянь – c , параметрів функцій належності – d , кількість правил – n) розробленими алгоритмами. Після навчання нечітка

модель підготовлена до керування процесом контролю обладнання роторної печі та її основних режимів роботи.

3. Розраховані на наступному етапі значення критеріїв надійності елементів і усієї системи обладнання роторної печі її пекарної камери в реальному масштабі часу передаються і зберігаються в БД для використання як для налагодження моделі, так і для керування процесами випічки хліба, його охолодження, пакування та логістики.

Останнім етапом буде слугувати процес виведення значення ОПР і завершення роботи алгоритму.

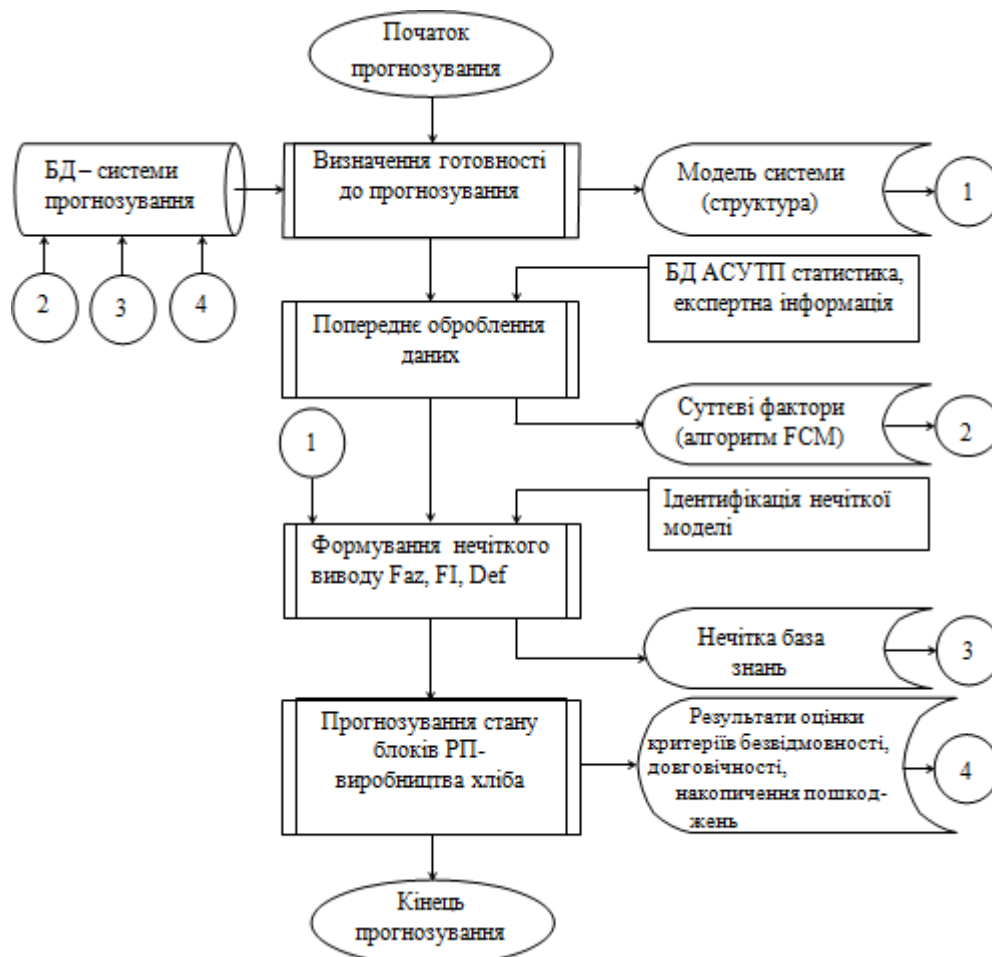


Рисунок 9 - Блок-схема алгоритму функціонування системи оцінки стану обладнання роторної печі системи газозабезпечення пекарної камери

У подальшому, з метою скорочення непланових ремонтних робіт і зупинок обладнання, виконується оптимізація програми технічного обслуговування та ремонтів, його тривалості, витрат праці, вимог щодо запасних частин і матеріалів відповідно до розробленої системи автоматизованого ППР. У процесі її виконання складаються відповідні документи в електронному вигляді: відомості, заяви, графіки, акти, звіти тощо.

На рис. 10 наведено алгоритм діагностики та керування процесом матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) ремонтів та обслуговування енергетичного обладнання роторної печі. Особливу увагу щодо контролю надійності роботи роторної печі необхідно звернути на систему газопостачання та електропостачання. Тому алгоритм діагностики та керування МТЗ роторної печі розпочинає свою роботу з оцінки параметрів планування енергоносіїв – газу й електрики. Дані від ОПР надходять в АСУТП верхнього рівня

управління, ERP якого оцінює погодинну потребу енергоносіїв та потоки грошей від реалізації продукції.

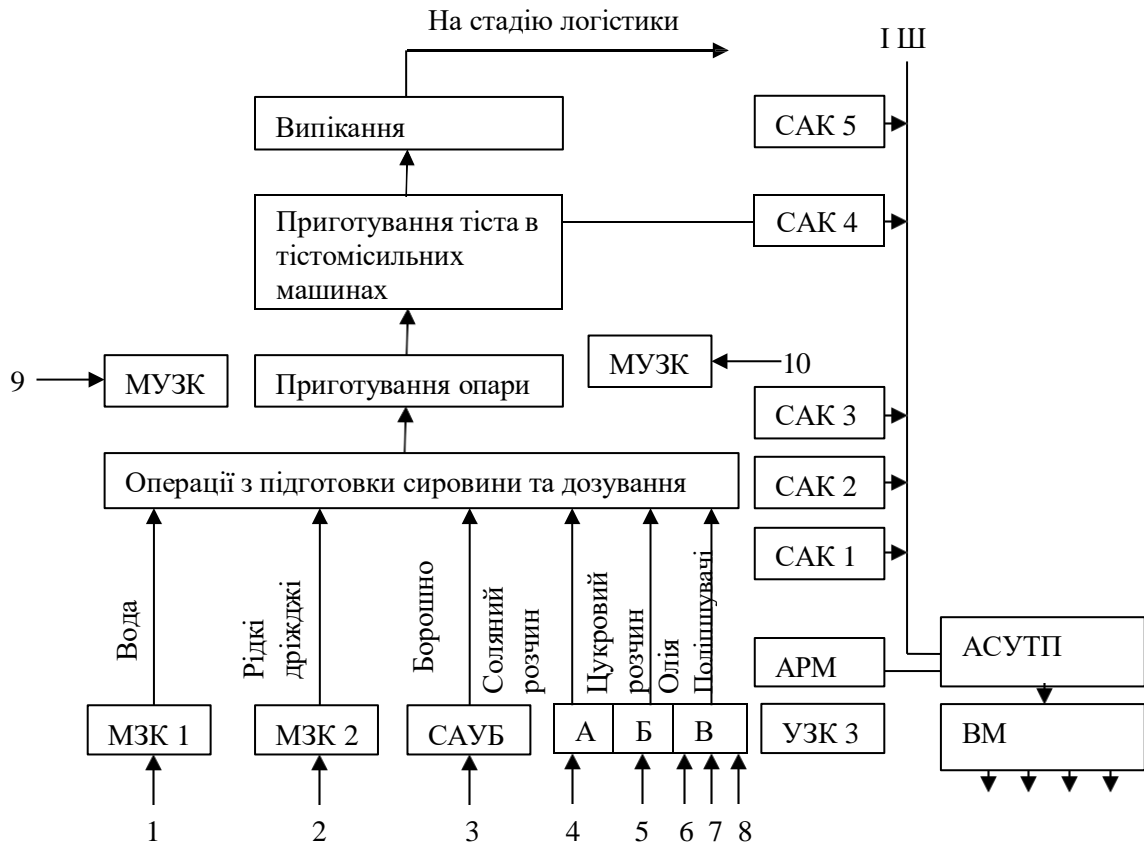


Рисунок 10 – Блок-схема автоматизованого комплексу виробництва хліба в роторних печах

Середній рівень з MES-системами оперативного керування і програмним забезпеченням виконує планування продуктивності роторних печей хлібозаводу, питомі витрати газу та електрики та його ділянок: підготовки борошна, виробництва опари та тіста. Середній рівень також визначає технологічні режими роботи випічної камери її завантаження, оптимізує траєкторію виробництва n сортів хліба та відповідно оцінює питомі витрати енергоносіїв, газу й електрики, а також повітря, води тощо. На третьому кроці алгоритм за допомогою методів нечіткого прогнозування оцінює залишковий ресурс енергетичних чинників та режимів роботи газового мультиблоку, частоту аварійного відключення газу, електрики, елементів резервування. Особа, яка приймає рішення (ОПР) на четвертому кроці алгоритму одержує необхідну інформацію для прийняття рішень щодо надійності роботи блоків роторної печі та критично оцінює безпечність роботи обладнання (5-й крок алгоритму). Якщо система оцінки безпечності роботи роторної печі розпізнала дефект в системі газопостачання, то на шостому кроці алгоритм оцінює час безпечної роботи пекарної камери щодо завершення процесу випікання (виробництва) хліба, якщо ні, то оцінюється критичність ситуації, а, відповідно, відпрацювання команд «проведення профілактичного обслуговування» або «зупинка роторної печі на ремонт». Верхній рівень АСУТП оцінює вартість ППО та ремонту, оптимізуючи операції технологічного обслуговування (ТО) та ремонту (Р) (крок 7). На восьмому кроці алгоритм з підсистемою ІСППРОР верхнього рівня АСУТП хлібозаводу виконує наступні операції: 1) планування ремонтних робіт; 2) управління технічною документацією; 3) управління виконанням ремонтних робіт і обліком витрат; 4) управління персоналом; 5) МТЗ ремонтів блоків печі.

Практика підвищення працездатності обладнання, яке визначає життєдіяльність населення регіону з техногенними територіями в період воєнного стану, вимагає від

проектантів мінімізувати втрати якості продукції харчування та оптимізувати витрати енергоносіїв за рахунок альтернативних джерел, розробити більш надійні системи керування технологічним обладнанням хлібозаводів. Система із вбудованими в технологічну лінію мехатронними пристроями – апаратами очищення води, дезінтеграції, змішування, – підсилює мікробіологічні, біохімічні, колоїдні, хімічні, гідродинамічні процеси випікання хліба.

У цій автоматизованій системі АСУТП, що керує на нижньому рівні технологічними процесами з локальними системами керування САК1, САК2, САК3 і вхідними блоками 1, 2, 3, 7 сировинних і енергетичних ресурсів виділені такі підсистеми:

1. Підготовки сировини, тобто диспергування для приготування соляного розчину, цукрового розчину та дозування жирових продуктів разом з підсилюючими речовинами.

2. Підготовки опари.

3. Виробництва тіста.

4. Випікання в роторних печах.

5. Охолодження, пакування та логістики.

У кожній із означених підсистем впроваджено мехатронні пристрої МУЗК, а саме: контроль параметрів очищеної води, борошна, газоутворюючої здатності борошна, густини рідких дріжджів, густини соляного та цукрового розчинів та інших компонентів, вологості опари, густини опари, температури тіста, вологості тіста, кислотності опари, підйомної сили тістової заготовки, формоутворюючої здатності тістової заготовки, тривалості вистоювання тістових заготовок, пористості тістових заготовок, температури в шафі вистоювання, маси тістової заготовки виконано за допомогою систем автоматизованого контролю САК1, САК2, САК3, САК4, САК5. Інформація до систем контролю надходить по інформаційній шині ІШ в АСУТП виробництва хліба

В АСУТП виробництва хліба використано нейронечіткі алгоритми інтелектуального керування процесами підготовки борошна, приготування опари, тіста, вистоювання та випікання хліба в роторній печі. Мехатронні пристрої з ЕС в темпі з процесом оцінюють якість сировини, напівфабрикатів і готової продукції. ІСППОР виконують рекомендації верхнього рівня керування АСУТП щодо продуктивності роторних печей, забезпечення газопостачанням, сировиною, інгредієнтами, електрикою та оцінюють вихідні показники якості та собівартості хліба. Головне завдання підсистеми підтримки прийняття рішень на основі інформації датчиків витрат гасу та електрики – забезпечити технологічну операцію випікання надійним енергозабезпеченням процесу випікання. Параметри борошна оцінює експертна система управління якістю, рекомендації якої через порт 3 надходять до системи автоматизованого управління борошном (САУБ) щодо вибору способу його поліпшення.

У монографії [11] авторами доведено, що в умовах нечіткої оптимізації з метою підвищення надійності обладнання та газопостачання і електрики, необхідно проводити моніторинг як робочих характеристик обладнання (якості сировини, води, опари, тіста, компонентів та хліба), так і енергозабезпечення з елементами резервування постачання газу та додаткових джерел електропостачання. Пропонуємо використати в системі моніторингу працездатності блоків роторної печі експертну систему (ЕС) та контролю енергопостачання газу і електрики з використанням інтерпретатора ПРОЛОГ [8, 11-13]. Експертна система представляє собою машину логічного виведення інформації та складається з бази даних (БД) і бази правил (БП), в яких є опис алгоритмічного, функціонального і технологічного рівнів діагностики роторної печі. Для умов контролю постачання газу електрики ЕС надає оператору через дисплей АРМ наступну інформацію: «потік газу має розрив» (сигнал датчика з реле мінімального тиску газу та стабілізатора тиску газу свідчить про відсутність цього параметру). Цій аварійній події відповідає правило: «якщо є розрив в трубопроводі постачання газу в газовий мультіблок, то є проблемна подія з виконанням виробничої програми випікання хліба». Команда ЕС віддає команду оператору роторної печі: «перейти на резервне постачання газу». Експертна система на основі інтерпретатора ПРОЛОГ оцінює стан обладнання роторної печі та видає рекомендації щодо проведення планово-профілактичного ремонту.

У системі діагностики роторних печей хлібозаводу використано концепцію побудови засобів діагностичної підтримки оператора, який оцінює оперативну обстановку та приймає рішення. Це дозволяє будувати системи оперативної діагностики в складі діючих АСУТП підприємств харчової промисловості. Така технологія базується на поняттях загального поля даних і знань про об'єкт діагностування та інструментальних засобах і складається із :

- 1) неоперативного контуру, призначеного для вирішення задач, щодо створення і верифікації баз даних, баз знань та операторського інтерфейсу;
- 2) оперативного контуру, призначеного для рішення задач інтелектуальної інформаційної підтримки людини-оператора в реальному часі.

Бази даних (БД) поділимо на оперативні та нормативні. Перші містять змінні, які характеризують поточний стан об'єктів діагностики. Інші включають нормативний опис стану технологічного обладнання хлібозаводів. Бази знань (БЗ) реалізуються моделями семіотичного типу і розділяються на неоперативні та оперативні [8, 11-15]. Перші мають тестовий опис діагностичних моделей знань для кожного елементу обладнання, що піддається діагностиці. Другі мають бінарні діагностичні моделі знань для оперативної діагностики елементів газового мультблоку обладнання роторної печі, витяжних вентиляторів, теплообмінника тощо.

Бази знань представляють собою ієрархію моделей знань, яка відповідає ієрархії обладнання роторної печі та забезпечення її газом і електрикою в періоди виялових відключень енергопостачання для конкретного виробничого процесу хлібозаводу.

Перехід від БЗ інтерпретатора ЕС реалізується в неоперативному контурі транслятором текстових баз знань. Верифікація відтрансльованих моделей діагностики виконується в мікропроцесорі МП1 задач неоперативного контуру. Оперативне оброблення діагностичних моделей виконано за допомогою мікропроцесора МП2 задач діагностики оперативного контуру. Особливістю експертної системи діагностики хлібозаводу є оброблення даних систем вимірювання і оцінки сигналів з датчиків, наприклад, контролю працездатності роторної печі, та надання оператору рекомендацій щодо технологічного обслуговування енергетичного та газового обладнання, виконання планових ремонтів та ППР.

Висновки. Розроблена система оцінки надійності обладнання з моніторингом стану енергетичних чинників спроектована з урахуванням умов місцевих хлібозаводів. Основною ознакою такої системи є алгоритми та системи моніторингу, розроблені відповідно до положення надійності складних систем, які включають функції розпізнавання аварій, аварійних ситуацій, що виникають у процесі експлуатації роторних печей.

Головну увагу в системі спрямовано на розробку алгоритмів контролю забезпечення роторних печей енергоносіями (газом, електрикою) та їх резервування. У статті обґрунтовано теоретичні основи оцінки рівня надійності обладнання роторних печей, газопостачання пекарних камер та заходи з оптимізації їх роботи. Розроблено методи і алгоритми оцінки працездатності роторних печей та їх робочих блоків.

Моделювання процесів виробництва хліба та вплив експлуатаційних відмов елементів роторних печей на працездатність усієї технічної системи обладнання хлібозаводу виконано з використанням формалізованих методів виявлення причинно-наслідкових зв'язків між подіями (відмовами) та вихідними показниками технологічного обладнання.

Моніторинг стану обладнання роторних печей і розробка АСУТП на базі нечіткого виведення інформації про працездатність основних блоків роторних печей дозволяє ОПР на базі нейронечіткого керування комплексом одержати швидкодіючу оцінку працездатності обладнання хлібозаводів за критерієм втрати якості хлібопродуктів.

На основі впровадження інтелектуальних підсистем діагностики буде досягнуто:

- підвищення ефективності роботи обладнання роторних печей за рахунок оптимізації параметрів газопостачання та за рахунок зниження кількості відмов до 25% за рік;
- виконання переходу від стратегії планового сервісного обслуговування до стратегії обслуговування обладнання хлібозаводів за фактичним технічним станом;

– забезпечення зниження витрат на ремонт і післяаварійне обслуговування роторних печей хлібозаводів.

Список літератури

1. Ладанюк А. П., Заєць Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія. Київ : Видавництво Ліра-К, 2016. 312 с.
2. Шаруда С. С., Кишенько В. Д. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2010. № 5/3 (47). С. 66–70.
3. Шаруда С. С., Кишенько В. Д. Імітаційне дослідження системи управління технологічними процесами хлібозаводу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2011. № 3. С. 14–16.
4. Гончаренко Б. М., Ладанюк А. П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій. Київ : НУХТ, 2014. 530 с.
5. Швед С. М., Ельперін І. В. Системний аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2012. № 613(60). С. 44-46.
6. Яглінський В. П., Іоргачов Д. В. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва: монографія. Одеса: Астропринт, 2004. 231 с.
7. Ямпольський Л. С. Нейротехнології та нейросистеми: монографія. Київ: Дорадо-Друк, 2015. 506 с.
8. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування: монографія. Кривий Ріг: Чернявський Д.О., 2021. 311 с.
9. Ладанюк А. П. та ін. Системний аналіз складних систем управління. Київ : НУХТ, 2013. 274 с.
10. Зайченко Ю. П. Основи проєктування інтелектуальних систем. Київ: Видавничий дім «Слово», 2004. 352 с.
11. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів: монографія; за заг. ред. В. П. Хорольського. Кривий Ріг: Чернявський Д.О., 2019. 203 с.
12. Руденко О. Г., Бородянський Є. В. Штучні нейронні мережі. Харків: Компанія СМІТ, 2006. 404 с..
13. Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. Виконавчі пристрої систем автоматизації. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 220 с.
14. Трегуб В. Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого керування (інтегровані автоматизовані системи керування). Київ: НУХТ, 2005. 192 с.
15. Ладанюк А. П., Трегуб В. Г. Комп'ютерно-інтегровані системи управління в харчовій промисловості. *Наукові праці УДУХТ*. 2000, № 8. С. 59-61.

References

1. Ladaniuk, A. P., Zaiets, N. A., Vlasenko, L. O. (2016). *Suchasni tekhnolohii konstruiuvannia system avtomatyzatsii skladnykh obektiv (merezhevi struktury, adaptatsiia, diahnostryka ta prohnouzuvannia)* [Modern technologies for designing automation systems of complex objects (network structures, adaptation, diagnostics and forecasting)], Kyiv, Lira-K Publishing House, 312 p.
2. Sharuda, S. S., Kyshenko, V. D. (2010). *Intelektualna sistema stsenarnoho upravlinnia khlibopekarskym vyrobnytstvom* [Intelligent scenario management system for bakery production], *Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern European Journal of Advanced Technologies], No. 5/3 (47). P. 66–70.

3. Sharuda, S. S., Kyshenko, V. D. (2011). *Imitatsiine doslidzhennia systemy upravlinnia tekhnolohichnymy protsesamy khlibozavodu* [Simulation study of the technological process management system of a bread factory], *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu* [Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute], 3, pp. 14–16.
4. Honcharenko, B. M., Ladaniuk, A. P. (2014). *Avtomatyziatsiia vyrobnychykh protsesiv kharchovykh tekhnolohii* [Automation of production processes of food technologies], Kyiv, NUHT, 530 p.
5. Shved, S. M., Elperin, I. V. (2012). *Systemnyi analiz tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva khlibobulochnykh vyrobiv* [System analysis of the technological process of production of bakery products], *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern European Journal of Advanced Technologies], 613(60), pp. 44–46.
6. Yahlinskyi, V. P., Iorhachov, D. V. (2004). *Modeliuvannia dynamichnykh protsesiv robotyzovanoho vyrobnytstva* [Modeling of dynamic processes of robotic production], Odesa, Astroprint, 231 p.
7. Yampolskyi, L. S. (2015). *Neirotekhnolohii ta neirosystemy* [Neurotechnologies and neurosystems], Kyiv, Dorado-Druk, 506 p.
8. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Serebrenykov, V. M. (2021). *Avtomatyizovani systemy keruvannia vyrobnytstvom smart-produktiv kharchuvannia* [Automated control systems for the production of smart food products], Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O., 311 p.
9. Ladaniuk, A. P. and others. (2013). *Systemnyi analiz skladnykh system upravlinnia* [System analysis of complex management systems], Kyiv, NUHT, 274 p.
10. Zaichenko, Yu. P. (2004). *Osnovy proiektuvannia intelektualnykh system* [Basics of designing intellectual systems], Kyiv, Slovo Publishing House, 352 p.
11. Khorolskyi, V. P. and others. (2019). *Intelektualni systemy upravlinnia vyrobnytstvom khlibobulochnykh vyrobiv* [Intelligent management systems for the production of bakery products], Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O., 203 p.
12. Rudenko, O. H., Borodianskyi, Ye. V. (2006). *Shtuchni neironni merezhi* [Artificial neural networks], Kharkiv, SMIT Company, 404 p.
13. Vasylykivskyi, I. S., Fedynets, V. O., Yusyk, Ya. P. (2020). *Vykonavchi prystroi system avtomatyziatsii* [Executive devices of automation systems], Lviv, Lviv Polytechnic Publishing House, 220 p.
14. Trehub, V. H. (2005). *Osnovy kompiuterno-intehrovanoho keruvannia (intehrovani avtomatyizovani systemy keruvannia)* [Fundamentals of computer-integrated control (integrated automated control systems)], Kyiv, NUHT, 192 p.
15. Ladaniuk, A. P., Trehub, V. H. (2000). *Kompiuterno-intehrovani systemy upravlinnia v kharchovii promyslovosti* [Computer-integrated management systems in the food industry], *Naukovi pratsi UDUKht* [Scientific works of UDUHT], 8, pp. 59-61.

Objective. *The purpose of the article is to study issues of improving the efficiency of technological equipment for the production of bakery products with given quality characteristics due to its protection against accidents.*

Methods. *For the purpose of modeling bread baking processes and the influence of operational failures of rotary oven elements on the performance of the entire technical system of bread production, it is proposed to use formalized methods of building and analyzing cause-and-effect relationships between events (failures) and initial system quality indicators. The methods used are graphical and allow simulating possible events, malfunctions, as well as investigating the probability of accidents occurring in rotary kilns. After that, fuzzy modeling of the state of reliability of rotary kilns is performed (a fuzzy knowledge base is developed, linguistic variables defined on universal sets, their set terms, membership functions, rules in a fuzzy base) and intelligent control systems for protecting rotary kilns from accidents are designed.*

Results. *The developed system for evaluating the reliability of equipment with monitoring the state of energy factors is designed taking into account the conditions of local bread factories. The main feature of such a system is the algorithms and monitoring systems developed in accordance with the reliability of complex systems, which include the functions of recognizing accidents and emergency situations that arise during the operation of rotary kilns. The main attention in the system is directed to the development of control algorithms for supplying rotary kilns with energy carriers (gas, electricity) and their backup. The article substantiates the theoretical basis for assessing the level of reliability of equipment of rotary kilns, gas supply of baking chambers and measures to optimize their operation. Methods and algorithms for evaluating the performance of rotary kilns and their working units have been developed.*

Modeling of bread production processes and the impact of operational failures of rotary kiln elements on the performance of the entire technical system of bakery equipment was performed using formalized methods of identifying cause-and-effect relationships between events (failures) and output indicators of technological equipment.

Monitoring the condition of the equipment of rotary kilns and developing an automated system for managing technological processes based on the fuzzy output of information about the performance of the main blocks of rotary kilns allows operators based on neurofuzzy control of the complex to obtain a quick assessment of the performance of bakery equipment based on the criterion of loss of quality of bread products.

Based on the introduction of intelligent diagnostic subsystems, the following will be achieved: increase the efficiency of rotary kiln equipment due to optimization of gas supply parameters and by reducing the number of failures by up to 25% per year; implementation of the transition from the strategy of planned service maintenance to the strategy of maintenance of equipment of bread factories according to the actual technical condition; ensuring the reduction of costs for repair and post-emergency maintenance of rotary ovens of bakeries.

Keywords: *rotary kiln, models, causal relationships, diagnostics, control system.*

ЗМІСТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Гніщевич В. А., Кущенко В.І.
ТЕХНОЛОГІЯ ЕМУЛЬСІЙНИХ СОУСІВ НА ОСНОВІ НАПІВФАБРИКАТУ
З М'ЯКОТІ ГАРБУЗА 5

Юдіна Т. І., Лук'яненко Л. В., Сібірцев Є. О.
ТЕХНОЛОГІЯ КИСЛОМОЛОЧНИХ ДЕСЕРТІВ НА ОСНОВІ СКОЛОТИН..... 12

Слащева А. В., Золотухіна І. В., Боднарук О. А., Переверзєв О. П.
ТЕХНОЛОГІЯ ТА ХАРЧОВА ЦІННІСТЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПЮРЕПОДІБНОГО
НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ ДЕСЕРТІВ ТА НАПОЇВ 19

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Ланська В. Д., Федорова Д. В.
ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СТАРТОВОЇ ЗАКВАСКИ ЛВ-1
В ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО РИСОВОГО ХЛІБА..... 27

Сімакова О. О., Горяйнова Ю. А., Боднарук О. А., Трухін О. Д., Романова О. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛАМІНАРІЇ ЦУКРОВОЇ НА ЯКІСНІ ТА
СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА 40

Кравченко М. Ф., Вітряк О. П.
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГІДРОЛІЗУ ЛАКТОЗИ У
МОЛОЧНІЙ СИРОВАТЦІ 48

Горяйнова Ю. А., Сімакова О. О., Мороз В. О., Школа К. В., Гоманкова С. Ю.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК З ПЛОДІВ ШОВКОВИЦІ НА ЖИРОВИЙ
КОМПОНЕНТ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ..... 56

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Гончаренко В. А., Шкільна Ю. С., Пронькін Ю. В.
УДОСКОНАЛЕННЯ СПРАЛЬНОГО ШВИДКОМОРОЗИЛЬНОГО АПАРАТА ДЛЯ
ЗАМОРОЖУВАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ ІЗ ТІСТА НА ОСНОВІ ЗАСОБІВ
АВТОМАТИЗАЦІЇ..... 63

Цвіркун Л. О., Омельченко О. В., Цвіркун С. Л., Шкільна Ю. С., Корінь К. О.
МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК У ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ ОВОЧІВ З
ОДНОРІДНОЮ ТЕКСТУРОЮ 71

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Петрушина Ю.М.
ІДЕНТИФІКАЦІЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ В ХОЛОДИЛЬНІЙ МАШИНІ
ПРОМИСЛОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА 78

Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Перекрест В. В., Нікітін Д. О.
РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РОТОРНИХ
ПЕЧЕЙ ХЛІБЗАВОДІВ 90

CONTENTS

MODERN FOOD TECHNOLOGIES

Gnitsevych V., Kushchenko V. TECHNOLOGY OF EMULSION SAUCES BASED ON SEMI-FINISHED PRODUCT FROM PUMPKIN PULP	5
Yudina T. I., Lukyanenko L. V., Sibirtsev Ye. O. TECHNOLOGY OF SOUR MILK DESSERTS BASED ON BUTTERMLK	12
Slashcheva A. V., Zolotukhina I. V., Bodnaruk O.A., Pereverzev O. P. TECHNOLOGY AND NUTRITIONAL VALUE OF A FUNCTIONAL PURE-LIKE SEMI-PRODUCT FOR DESSERTS AND BEVERAGES	19

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

Lanska V. D., Fedorova D. V. FEASIBILITY OF USING LV-1 STARTER LEAST IN THE GLUTEN-FREE RICE BREAD TECHNOLOGY.....	27
Simakova O. O., Goriainova Iu. A., Bodnaruk O. A., Trukhin O. D., Romanova O. V. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SUGAR KELP ON THE QUALITATIVE AND STRUCTURAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF YEAST DOUGH.....	40
Kravchenko M. F., Vitriak O. P. JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF ENZYMATIC HYDROLYSIS OF LACTOSE IN MILK WHEY.....	48
Goriainova Iu. A., Simakova O. O., Moroz V. O., Shkola K. V., Homankova S. Yu. STUDY OF THE INFLUENCE OF ADDITIVES FROM MULBERRY FRUITS ON THE FAT COMPONENT OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS	56

IMPROVEMENT OF PROCESSES AND APPARATUS OF FOOD PRODUCTION

Omelchenko O. V., Tsvirkun L. A., Goncharenko V. A., Shkilna Yu. S., Pronkin Yu. V. IMPROVEMENT OF A SPIRAL QUICK FREEZER FOR FREEZING SEMI-FINISHED DOUGH PRODUCTS ON THE BASIS OF AUTOMATION	63
Tsvirkun L. A., Omelchenko O. V., Tsvirkun S. L., Shkilna Yu. S., Koryn K. O. SIMULATION OF FORCE CHARACTERISTICS IN THE PROCESS OF CUTTING VEGETABLES WITH A HOMOGENEOUS TEXTURE	71

DEVELOPMENT OF PROGRESSIVE HIGH-EFFICIENT FOOD INDUSTRY EQUIPMENT

Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Petrushyna Yu. M. IDENTIFICATION OF EMERGENCY SITUATIONS IN THE REFRIGERATING MACHINE OF AN INDUSTRIAL REFRIGERATOR.....	78
Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Perekrest V.V., Nikitin D.O. DEVELOPMENT OF INTELLIGENT RELIABILITY ASSESSMENT SYSTEMS ROTOR OVENS OF BAKERY FACTORIES.....	90

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Наукове видання

ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Тематичний збірник наукових праць

№ 2 (47) 2023

Українською та англійською мовами

Підписано до друку 25.12.2023 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура «Times New Roman». Друк — лазерний.
Ум. друк. арк. 4,24. Обл.-вид. арк. 4,4.
Наклад 50 прим.

Видавець Чернявський Д.О.
пр. 200-річчя Кривого Рогу, 17, (зуп. «Спаська»),
тел.: (067) 46-46-102
Свідоцтво ДК 3449 від 02.04.2009 р.

 [oktanua](#)  [oktanua](#)  oktanprint@ukr.net

 +38 (067) 46-46-102 

 oktanprint.com.ua; oktanshop.com; oktanprint.cz

ДРУКАРНЯ  ОКТАН-ПРИНТ