

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 (43) 2021

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
2021

УДК 664.002.5

Редакційна колегія:

Головний редактор — В. П. Хорольський
Заступник головного редактора — Р. П. Никифоров
Відповідальний редактор серії — Д. В. Акіндєєв
Відповідальний секретар серії — А. В. Слащева

Редакційна колегія серії:

Віннікова Л. Г., д-р техн. наук (Одеський національний університет харчових технологій); *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 (Київський національний 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 (Державний біотехнологічний 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); *Покотило О. С.*, д-р біол. наук (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя); *Погребняк В. Г.*, д-р техн. наук (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу); *Попова С. Ю.*, канд. техн. наук (Національний університет біоресурсів і природокористування України); *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 (Київський національний торговельно-економічний університет); *Возняк Юрій*, канд. фіз.-мат. наук (Центр молекулярних і макромолекулярних досліджень Польської Академії наук); *Хамісабаді Джавад*, канд. наук із промислового менеджменту (Факультет інженерії та менеджменту, Ісламський університет Азада, Тегеран, Іран).

Журнал 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 23.12.2021 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, 2021

ISSN 2079-4827

Ministry of Education and Science of Ukraine
Mykhailo Tuhon-Baranovskyi Donetsk
National University of Economics and Trade

FOOD PRODUCTION EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES

Thematic collection of scientific works

No 2 (43) 2021

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
2021

Editorial board:

Editor in chief — **V. P. Khorolskyi**
Deputy editor in chief — **R. P. Nykyforov**
Executive editor of series — **D. V. Akindiev**
Executive secretary of series — **A. V. Slashcheva**

Editorial board of series:

Deynichenko G. V., Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Gnitsevykh V. A.*, Grand PhD in Engineering sciences (Kyiv National University of Trade and Economics); *Grinchenko O. O.*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Heiier H. V.*, Grand PhD in Economy sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Khomych H. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Poltava University of Economics and Trade); *Khorolskyi V. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Zolotukhina Inna*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Mykhailov V. M.*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Nykyforov R. P.*, PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Omelchenko O. V.*, PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Pogrebnyak V. G.*, Grand PhD in Engineering sciences (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas); *Pokotylo O. S.*, Grand PhD in Biological sciences (Ternopil Ivan Puluj National Technical University); *Popova S. Yu.*, PhD in Engineering sciences (National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine); *Priss O. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Tavria State Agrotechnological University); *Pyvovarov P. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Slashcheva A. V.*, PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Simakova O. O.*, PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Stadnyk I. Ya.*, Grand PhD in Engineering sciences (Ternopil Ivan Puluj National Technical University); *Vinnikova L. G.*, Grand PhD in Engineering sciences (Odessa National Academy of Food Technologies); *Yudina T. I.*, Grand PhD in Engineering sciences (Kyiv National University of Trade and Economics); *Vozniak Yurii*, PhD in Physico-mathematical sciences (Center for Molecular and Macromolecular Studies, Polish Academy of Sciences), *Khamisabadi Javad*, PhD in industrial management (Faculty of Engineering & Management, Islamic Azad university, Tehran, Iran).

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 № 13181-2065ПП dated July 25, 2007.

Founder and editor Mykhailo Tuhan-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 Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade (transaction No. 5 dated 23.12.2021).

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

© Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade, 2021

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-5-11

УДК 637.521

Гніцевич В. А., д-р техн. наук, професор
Кущенко В. І., здобувач ОС бакалавра

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

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ЯКІСТЬ НАПІВФАБРИКАТУ НА ОСНОВІ М'ЯКОТІ ГАРБУЗА ДЛЯ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ

UDC 637.521

Gnitsevych V. A., Grand PhD of Engineering Science,
Professor
Kushchenko V. I., a graduate of a bachelor's degree

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

TECHNOLOGY AND QUALITY OF THE SEMI-FINISHED PRODUCT ON THE BASIS OF PUMPKIN PULP FOR HEALTHY NUTRITION

Мета. Метою дослідження є визначення оптимального співвідношення основних рецептурних компонентів, а саме м'якоті та насіння гарбуза, сироватки молочної сухої підсирної у складі напівфабрикату і визначення показників його якості.

Методи. Органолептичну оцінку якості напівфабрикату здійснювали аналітичними методами. Масову частку вологи визначали висушуванням до постійної маси при температурі 105 ± 2 °С. Хімічний склад визначали розрахунковим методом.

Ступінь збалансованості незамінних амінокислот встановлювали шляхом порівняння їх скорів із стандартним білком, що запропонований *FAO/WHO*.

Моделювання жирнокислотного складу продуктів здійснювали за формулою:

$$L_i = \frac{\sum_{k=1}^n l_{ik} q_k x_k}{\sum_{k=1}^n q_k x_k}, \quad (1)$$

де L_i — масова частка i -ої жирної кислоти у жирі модельованої рецептури, %; l_{ik} — масова частка i -ої жирної кислоти у жирі k -го інгредієнту, %; q_k — масова частка жиру у k -му інгредієнті, %; x_k — масова частка k -го інгредієнту, %.

Для моделювання амінокислотного складу напівфабрикату використано математичну модель професора Ліпатова М. М. :

$$A_i = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ik} p_k x_k}{\sum_{k=1}^n p_k x_k}, \quad (2)$$

де A_i — масова частка i -ої амінокислоти у білку модельованої рецептури, %; a_{ik} — масова частка i -ої амінокислоти у білку в k -му інгредієнті, %; p_k — масова частка білка у k -му інгредієнті, %; x_k — масова частка k -го інгредієнту, %.

Результати. На підставі проведеного моделювання та оптимізації рецептурного складу напівфабрикату встановлено, що забезпечення максимальних функціональних властивостей, а саме за збалансованістю незамінних амінокислот та поліненасичених жирних кислот відбувається за співвідношення компонентів, мас. %: $W_{\text{ПГ}} : W_{\text{НГ}} : W_{\text{СМПС}} = 35 : 40 : 25$. Розроблений

Надійшла до редакції 25.10.2021 р.

© В. А. Гніцевич, В. І. Кущенко, 2021

напівфабрикат являє собою пюреподібну масу із вмістом сухих речовин 65 %. Відрізняється високим вмістом білків, вуглеводів, в тому числі харчових волокон, вітамінів і мінеральних речовин. Встановлено, що серед ненасичених жирних кислот домінуючими є поліненасичена лінолева кислота (36,51 %) та мононенасичена олеїнова (31,50 %).

Ключові слова: м'якоть гарбуза, насіння гарбуза; сироватка молочна підсирна суха, моделювання, оптимізація, напівфабрикат, біологічна цінність.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку України проблема збереження і зміцнення здоров'я нації є ідеологічною, економічною та соціальною задачею. 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 [1–2].

За цих умов необхідним є коригування раціону харчування людини як елементу його громадського здоров'я. Одним із шляхів вирішення цієї задачі стає комбінування харчової сировини тваринного та рослинного походження з різними функціонально-технологічними властивостями, що є носіями важливих аліментарних нутрієнтів. Це дозволяє отримати нові продукти, які збагачені на фізіологічно важливі для організму людини нутрієнти та направлено впливають на різні аспекти функціональної діяльності організму.

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 каротиновмісну, а саме моркву та 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.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз літературних джерел показав, що створення харчових продуктів полікомпонентного складу із заданими функціональними та технологічними властивостями є широким та перспективним напрямком розвитку харчових технологій. Чисельними дослідженнями встановлено, що комбінування сировини тваринного (м'ясо-та молокопродукти) та рослинного походження дозволяє отримати продукти з високим вмістом тваринного білка, одночасно збагачених вітамінами, мікроелементами, ненасиченими жирними кислотами, харчовими волокнами, антиоксидантами тощо [3–5].

На підставі проведеного аналізу використання рослинних добавок у технології м'ясних та сирних фаршів встановлено, що цей напрям знаходить широке застосування, оскільки сировина рослинного походження дозволяє не лише підвищувати біологічну цінність базових продуктів, а й покращувати функціонально-технологічні властивості фаршів [6–9]. Практичний інтерес становить використання насіння та м'якоти гарбуза, які за вмістом основних нутрієнтів, за технологічними властивостями і особливо за біологічною цінністю є перспективною сировиною для виробництва напівфабрикатів багатофункціонального призначення, які можна використовувати як у складі фаршевих виробів, так і в якості начинок.

Мета статті. Метою дослідження є визначення оптимального співвідношення основних рецептурних компонентів, а саме м'якоти та насіння гарбуза, сироватки молочної сухої підсирної у складі напівфабрикату й визначення показників його якості.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктом досліджень було обрано м'якоть гарбуза виду *Cucurbita moschata* Duch. помологічного сорту Butternut, сироватку молочну підсирну суху (СМПС) за ДСТУ 33958–2016, насіння гарбуза за ТУ У 15.3-32941822-001:2009.

Для отримання пюре з гарбуза (ПГ) сировину піддавали інспектуванню, промиванню та очищенню, подрібненню кубиком подальшою тепловою обробкою парою за температури 110 ± 20 °C впродовж $(20...25) \times 60$ с, з наступним протиранням при 80 ± 20 °C та подальшою тепловою обробкою парою за температури 75 ± 50 °C протягом $(6...7) \times 60$ с. Насіння гарбуза (НГ) подрібнювали до розмірності $(350...450) \times 10^{-3}$ м.

Чисельними дослідженнями було встановлено, що м'якоть та насіння гарбуза є цінною сировиною з точки зору харчової та біологічної цінності. Вони містять значну кількість функціонально-технологічних інгредієнтів (білків, клітковини, ПНЖК). З метою збагачення напівфабрикату повноцінним білком було запропоновано включити до складу сироватку молочну підсирну суху. Крім того, передбачається, що внесення СМПС дозволить покращити ФТВ розроблюваного напівфабрикату.

Для оцінки біологічної цінності створюваних композицій були використані показники амінокислотної збалансованості сумарного білка напівфабрикату у порівнянні із заданими еталонами амінокислотного складу і критеріями амінокислотної збалансованості. Наукові основи та методологічні підходи до вирішення проблеми проектування складу збалансованих харчових продуктів були закладені в серії робіт академіків РАСГН І. А. Рогова та М. М. Ліпатова [10].

Органолептичними дослідженнями встановлені межві значення вмісту основних компонентів. Шляхом математичних розрахунків за формулою (1) встановлено, що для набуття напівфабрикатом функціональних властивостей за вмістом ПНЖК мінімальна кількість насіння гарбуза має складати 20%. Враховуючи означену мінімальну кількість насіння гарбуза, за формулою (2) було проведене математичне моделювання амінокислотного складу напівфабрикату. Результати підтвердили необхідність використання у його складі СМПС, вміст якого має становити не менш, ніж 25 %.

Для напівфабрикату пріоритетними є функціональні властивості, що зумовлені вмістом таких функціонально-фізіологічних інгредієнтів, як харчові волокна та ПНЖК. З метою визначення оптимального співвідношення компонентів був застосований метод планування експерименту за ортогональним симетричним планом Бокса-Бенкіна. Вміст СМПС обрано у 25 % як постійний, вміст пюре гарбуза варіювали в інтервалі 25...55 %, насіння гарбуза — 20...50 %

В результаті математичного моделювання була розроблена оптимальна за збалансованістю ПНЖК рецептура напівфабрикату, яка передбачає наступне співвідношення компонентів, мас. %: $W_{ПГ} : W_{НГ} : W_{СМПС} = 40 : 35 : 25$.

Користуючись досвідом попередніх доробок, була розроблена технологія виробництва напівфабрикату, яка передбачає змішування підготовлених компонентів у визначених співвідношеннях, перемішуванні до утворення маси з рівномірно розподіленими часточками по всьому об'єму та її охолодження до $2...4$ °C, або заморожування при температурі -18 °C протягом 180...190 хв.

Розроблений напівфабрикат являє собою пюреподібну масу з вмістом сухих речовин 35%. До складу сухого залишку входять білки, вуглеводи, жири, мінеральні речовини (табл. 1).

Важливу роль відіграє не тільки кількісний вміст білкових речовин, а і його якісний склад. Розраховували скор незамінних амінокислот білків і порівнювали його зі стандартом ФАО/ВОЗ. Результати досліджень наведені у табл. 2.

Таблиця 1 — Хімічний склад напівфабрикату

Показник	Вміст, % (на СР)
Білки	8,5
Жири	9,6
Вуглеводи, в т.ч.	32,0
Клітковина	8,4
Ненасичені жирні кислоти	3,9
Моно- і дисахариди	6,5
Зола	5,1
Вітаміни	3,6
Мінеральні речовини	5,1

Таблиця 2 — Вміст незамінних амінокислот у напівфабрикаті

Назва амінокислоти	Еталон ФАО/ВОЗ, г /100 г	Вміст, % (на суху масу)	Амінокислотний скор, %
Валін	5,0	3,8	76,0
Ізолейцин	4,0	3,1	77,5
Лейцин	7,0	4,9	70,0
Лізин	5,5	4,9	89,1
Метіонін	3,5	3,1	88,6
Треонін	4,0	4,1	102,5
Фенілаланін	6,0	5,9	98,3
Триптофан	1,0	0,8	80,0
Загальна кількість	36,0	34,2	

Аналіз даних свідчить, що в складі білків напівфабрикату лімітуючими амінокислотами є валін, ізолейцин, лейцин, а рівень всіх інших незамінних амінокислот близький до стандарту ФАО/ВОЗ, що свідчить про високу біологічну цінність продукту.

Жирнокислотний склад ліпідів представлений як насиченими, так і ненасиченими жирними кислотами (табл. 3).

Таблиця 3 — Жирнокислотний склад ліпідів напівфабрикату

Назва жирної кислоти (ЖК)	Індекс кислоти	Вміст, мг/100 мг	Вміст, % від загальної кількості
Лауринова	C _{12:0}	0,70	3,34
Міристинова	C _{14:0}	0,55	2,64
Пентадеканова	C _{15:0}	0,17	0,81
Пальмітинова	C _{16:0}	1,80	8,59
Стеаринова	C _{18:0}	0,80	3,82
Арахінова	C _{20:0}	0,30	1,43
Всього насичених ЖК			20,63
Пальмітолеїнова	C _{16:1}	0,27	1,29
Олеїнова	C _{18:1}	6,60	31,50
Лінолева	C _{18:2}	7,65	36,51
Ліноленова	C _{18:3}	2,11	10,07
Всього ненасичених ЖК			79,37
Всього		20,95	100

Встановлено, що серед ненасичених жирних кислот домінуючими є поліненасичена лінолева кислота (36,51 %) та мононенасичена олеїнова (31,50 %). Завдяки значному вмісту лінолевої кислоти можна розглядати як продукт функціонального призначення.

Поняття «якість продукту» охоплює не тільки кількісне співвідношення харчових речовин, але і органолептичну характеристику. Дані свідчать про високі органолептичні властивості напівфабрикату (табл. 4), що дає можливість їх широкого використання при виробництві кулінарної продукції в підприємствах ресторанного господарства.

Регулюванням співвідношення рецептурних компонентів досягнуто оптимальне співвідношення амінокислотного складу та вмісту поліненасичених жирних кислот, яке дозволяє віднести розроблений напівфабрикат до категорії функціональних продуктів. Крім того, багатофункціональність напівфабрикату досягається його використанням у технологіях фаршів, паст, пюреподібних супів, в якості наповнювача тощо.

Висновки. Проведений аналіз і систематизація літературних джерел щодо проблеми створення напівфабрикатів з підвищеним вмістом біологічно активних речовин дозволи-

Таблиця 4 — Органолептичні показники якості напівфабрикату

Показник якості	Характеристика напівфабрикату	
	Свіже приготовлений	Після заморожування
Зовнішній вигляд	Однорідна в'язка маса з часточками насіння гарбуза	Тверда однорідна маса
Консистенція	Пластична	Тверда
Запах	Приємний, властивий гарбузу, з легким ароматом молока	Приємний, властивий гарбузу
Колір	Жовто-оранжевий	Жовто-оранжевий
Смак	Властивий гарбузу та насінню гарбуза, без сторонніх смаків та присмаків	Властивий гарбузу та насінню гарбуза, без сторонніх смаків та присмаків

ли 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.

Завдяки проведеному математичному моделюванню було визначено максимально збалансований за амінокислотним та жирнокислотним складом напівфабрикат. Дослідження харчової та біологічної цінності дають змогу дійти висновку, що розроблений напівфабрикат характеризується високим білків, добре збалансований за вмістом незамінних амінокислот (47,05% незамінні та 52,95% заміні амінокислоти), має достатньо високий вміст поліненасичених жирних кислот (20,63% до загальної кількості жирних кислот).

Список літератури

1. Смоляр В. Основні тенденції в харчуванні населення України. *Проблеми харчування*. 2010. № 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. Капрельянц В., Йоргачова К. Функціональні продукти. Одеса : Друк, 2003. 312 с.
4. Інноваційні технології харчової продукції : колективна монографія / за заг. ред. Г. В. Дейниченка. Харків : Факт, 2019. 248 с.
5. Гніцевич В. А., Никифоров Р. П., Федотова Н. А., Кравченко Н. В. Технологія харчових продуктів із заданими властивостями на основі вторинної молочної та рослинної сировини : монографія. Донецьк : Донбасс, 2014. 337 с.
6. Гніцевич В. А., Чехова Н.С. Властивості м'ясних січених мас з рослинним напівфабрикатом. *Товари і ринки*. 2016. № 1 (21). С. 184–192.
7. Гніцевич В. А., Гончарова Н. С. Теоретичні аспекти розробки напівфабрикату на основі печериць та насіння гарбуза. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2011. Вип. 26. С. 181–186.
8. Юдіна Т. І., Назаренко І. А., Никифоров Р. П. Дослідження якості молочно-рослинних фаршів на основі концентрату зі сколотин. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. № 3/10 (75). С. 10–15.
9. Yudina T., Nazarenko I., Vodnaruk O. Determination the comprehensive measure of quality of combined minced. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2018. С. 30–38.
10. Липатов Н.Н. Предпосылки компьютерного проектирования продуктов и рационов питания с задаваемой пищевой ценностью. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 1995. № 3. С. 4–9.

References

1. Smolyar, V. (2010). *Osnovni tendentsiyi v kharchuvanni naseleण्या Ukrayiny* [Main tendencies in nutrition of the population of Ukraine]. *Problemy kharchuvannya* [Nutrition problems], no. 2, pp. 5–9.

2. State Statistics Service of Ukraine (2019). *Balansy ta spozhyvannia osnovnykh produktiv kharchuvannia naseleнням Ukrainy* [Balance and living of the main products of food for the population of Ukraine] p. 12. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/07/zb_bsoph2018_pdf.pdf.
3. Kapreliants, V. Iorhachova, K. (2003). *Funktsionalni produkty* [Functional products]. Odesa, Druk Publ., 312 p.
4. Dejnychenko, H. ets. (2019). *Innovatsijni tekhnologii kharchovoi produktsii* [Innovative technologies of food products]. Kharkiv, Fakt Publ., 248 p.
5. Hnitsevych, V. A., Nykyforov, R. P., Fedotova, N. A., Kravchenko, N. V. (2014). *Tekhnologii kharchovykh produktiv iz zadanyimi vlastyvostiamy na osnovi vtorynnoi molochnoi ta roslynnoi syrovyny* [Technology of food products from the given authorities on the basis of secondary dairy and roslin syruvin]. Donetsk, Donbass Publ., 337 p.
6. Hnitsevych, V. A. Chekhova, N. S. (2016). *Vlastyvoli m'iasnykh sichenykh mas z roslynnyim napivfabrykatom* [The power of meat and bread masses with a grown-up product]. *Tovary i rynky* [Goods and markets], no. 1 (21). pp. 184–192.
7. Hnitsevych, V. A., Honcharova, N. S. (2011). *Teoretychni aspekty rozrobky napivfabrykatu na osnovi pecheryts ta nasinnia harbuza* [Theoretical aspects of packaging on the basis of peppers and garmelon]. *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv* [Equipment and technologies of food production], no. 26. pp. 181–186.
8. Yudina, T. I., Nazarenko, I. A., Nykyforov, R. P. (2015). *Doslidzhennia iakosti molochno-roslynnykh farshiv na osnovi kontsentratu zi skolotyln* [Research of quality of dairy and vegetable forcemeats on the basis of concentrate from buttermilk]. *Skhidno-Yevropejs'kyj zhurnal peredovykh tekhnologij* [Eastern European Journal of Advanced Technology], no. 3/10 (75), pp. 10–15.
9. Yudina, T., Nazarenko, I., Bodnaruk, O. (2018). Determination the comprehensive measure of quality of combined minced. *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv* [Equipment and technologies of food production], no. 40 (1). pp. 30–38.
10. Lypatov, N. N. (1995). *Predposylky komp'uternoho proektyrovannia produktov y ratsyonov pytannia s zadavaemoj pyshevoj tsennost'iu* [Prerequisites for computer-aided design of foods and diets with a given nutritional value]. *Khranenne y pererobotka sel'khozsyria* [Storage and processing of agricultural raw materials], no. 3. pp. 4–9.

Objective. *The aim of the study is to determine the optimal ratio of the main prescription components, namely the pulp and seeds of pumpkin, whey powder in the composition of the semi-finished product and to determine its quality indicators.*

Methods. *Organoleptic evaluation of the quality of the semi-finished product was carried out by analytical methods. The mass fraction of moisture was determined by drying to constant weight at a temperature of 105 ± 2 °C. The chemical composition was determined by the calculation method.*

The degree of balance of essential amino acids was determined by comparing their scores with the standard protein proposed by the FAO / WHO.

Modeling of the fatty acid composition of products was carried out according to the formula:

$$L_i = \frac{\sum_{k=1}^n l_{ik} q_k x_k}{\sum_{k=1}^n q_k x_k}, \quad (1)$$

Where:

L_i — mass fraction of i -th fatty acid in the fat of the simulated formulation, %;

l_{ik} — mass fraction of the i -th fatty acid in the fat of the k -th ingredient, %;

q_k — mass fraction of fat in the k -th ingredient, %;

x_k — mass fraction of the k -th ingredient, %.

To model the amino acid composition of the semi-finished product used a mathematical model of Professor Lipatov M.:

$$A_i = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ik} p_k x_k}{\sum_{k=1}^n p_k x_k}, \quad (2)$$

Where:

A_i — mass fraction of the i -th amino acid in the protein of the simulated formulation, %;

a_{ik} — mass fraction of the i -th amino acid in the protein in the k -th ingredient, %;

p_k — mass fraction of protein in the k -th ingredient, %;

x_k — mass fraction of the k -th ingredient, %.

Results. Based on the modeling and optimization of the prescription composition of the semi-finished product, it is established that the provision of maximum functional properties, namely the balance of essential amino acids and polyunsaturated fatty acids occurs at the ratio of components, wt. %: WPP : WPS : WWDC = 35 : 40 : 25. The developed semi-finished product is a puree with a dry matter content of 65%. It has a high content of proteins, carbohydrates, including dietary fiber, vitamins and minerals. Polyunsaturated linoleic acid (36,51 %) and monounsaturated oleic acid (31,50 %) were found to be dominant among unsaturated fatty acids.

Keywords: pumpkin pulp, pumpkin seeds; whey dry cheese, modeling, optimization, semi-finished product, biological value .

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-11-18

УДК 664.685.6

Дейниченко Л. Г., канд. техн. наук, доцент

Корецька І. Л., канд. техн. наук, доцент

Буряк Д. О., здобувач ОС магістра

Національний університет харчових технологій (м. Київ, Україна), e-mail: deliugri@gmail.com.

ТЕХНОЛОГІЯ ВЕРШКОВОГО КОНДИТЕРСЬКОГО КРЕМУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОЛОЧНО-БІЛКОВОГО КОПРЕЦИПІТАТУ

UDC 664.685.6

*Deinychenko L. H., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*

*Koretska I. L., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*

Buriak D. O., a graduate of a master's degree

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine, deliugri@gmail.com.

TECHNOLOGY OF CREAM WITH MILK-PROTEIN CO-PRECIPIRATE

Мета. Метою даної роботи є розроблення технології вершкового кондитерського крему з використанням молочно-білкового копреципітату та оцінка якості отриманого продукту. У статті представлено проблему дефіциту білка у раціоні харчування, визначено як дана проблема впливає на стан здоров'я людини. Для вирішення поставленої проблеми запропоновано розроблення технології вершкових кремів з використанням нетрадиційної високобілкової сировини, а саме молочно-білкового копреципітату.

Методи. Під час роботи було використано методи аналізу й синтезу, порівняння, системного підходу. Загальний хімічний склад розробленого продукту було визначено за стандартними методиками. Інтегральний скор було визначено розрахунковим методом на масу продукту, яка відповідає 10 % добової потреби людини в енергії. Органолептичну оцінку якос-

Надійшла до редакції 30.10.2021 р. © Л. Г. Дейниченко, І. Л. Корецька, Д. О. Буряк, 2021

ті продуктів було здійснено методом профільного аналізу. Профілі якості будували за допомогою обчислювальної програми MS Excel.

Результати. Для вирішення визначеної проблеми за основу та контроль було обрано рецептуру вершкового крему із сиром кисломолочним нежирним. Для отримання вершкового крему з використанням молочно-білкового копреципітату охолоджені вершки збивали з цукром та цукром ванільним, молочно-білковий копреципітат разом з сиром кисломолочним нежирним протирали. Протерту суміш обережно додавали до збитих вершків та всипали порошок винного каменю. Отриману суміш збивали до однорідної та пухкої консистенції.

Аналіз хімічного складу показав, що у порівнянні зі зразком розроблений крем характеризується підвищенням вмісту білків на 34 %, вмісту жирів — на 1,3 %, та зниженням вмісту вуглеводів на 14,5 %. Також спостерігається збільшення у розробленому кремі вмісту мінеральних речовин.

З метою визначення ступеню задоволення добової потреби організму в основних харчових речовинах, було розраховано інтегральний скор розробленого продукту. Відповідно до отриманих даних, розроблений крем забезпечує добову потребу у білках на 13 %, у мінеральних речовинах — від 3 % до 17 %. Побудовані органолептичні профілі вказують на поліпшення консистенції, запаху та смаку розробленого продукту порівняно з контролем.

Дані, представлені у статті, визначають доцільність використання технології розробленого крему у закладах ресторанного господарства для збільшення асортименту продуктів з високим вмістом білку, що позитивно вплине на вирішення проблеми, пов'язаної з дефіцитом харчового білка.

Ключові слова: дефіцит білка, молочно-білковий копреципітат, борошняні кондитерські вироби, вершковий крем, біологічна цінність.

Постановка проблеми. Одна з найбільших проблем, з якою стикається населення всього світу — незбалансований та одноманітний раціон харчування, що суттєво відбивається на здоров'ї, працездатності та тривалості життя людини. Ця проблема стає підґрунтям для поступового зростання рівня захворюваності населення, що частково обумовлюється дефіцитом біологічно цінних нутрієнтів.

Щороку простежується тенденція зменшення кількості білкових речовин у раціоні харчування, і як наслідок виникнення дефіциту харчового білка, який на сьогодні оцінюється у 10–15 млн. т. Дефіцит білку може суттєво впливати на стан здоров'я людини, у подальшому провокуючи хвороби, пов'язані з шлунково-кишковим трактом, ендокринною та нервовою системами, функціонуванням печінки [1]. На сьогоднішній день наслідки білкового дефіциту усуваються лише за умови споживання збалансованих харчових продуктів та повноцінних білків.

Ефективним напрямком для часткового вирішення поставленої проблеми є залучення білоквмісної сировини для виробництва харчових продуктів, які користуються значним попитом серед населення. Одним з популярних сегментів харчової продукції на вітчизняному ринку є борошняні кондитерські вироби, зокрема торти та тістечка [2]. Обов'язковим компонентом цих виробів є кондитерські креми, які використовуються для оздоблення, прошарування та наповнення випечених напівфабрикатів. Враховуючи постійне зростання попиту на борошняні кондитерські вироби створюються передумови для розробки новітніх технологій виробництва кремів, зокрема із залученням високобілкової сировини, що дозволить збільшити харчову та біологічну цінність розробленого продукту. Прикладом такої сировини є молочно-білкові копреципітати (МБКК), які виготовляються на основі білково-вуглеводної молочної сировини та містять у своєму складі білки високої біологічної цінності та значну кількість макроелементів [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Науковцями досить активно вивчається питання, що стосується удосконалення та розробки нових технологій вершкових кремів. Більшість наукових праць та публікацій спрямовані на дослідження впливу різноманітних стабілізаторів на структуру харчової системи, що пояснюється нестабільністю кремів під час зберігання. Зокрема, вченими НУХТ запропоновано використання природних гід-

роколоїдів — альгілату натрію та j-карагінану у рецептурі вершкового крему. Було встановлено, що під час охолодження збитої маси полісахариди утворюють драглеподібний каркас, що запобігає її розшаруванню і надає системі стійкості при зберіганні [4].

Запропоновано технологію одержання вершкового крему, яка передбачає додавання у рецептуру гідролізованого гарбузового або морквяного пюре. Завдяки тому, що у складі даних компонентів присутній пектин, забезпечується необхідна структура крему, крім того покращується хімічний склад та продукт набуває радіопротекторних властивостей [5].

Вченими Ірану досліджувалося питання щодо використання насіння базилику у технології збитих вершків. Було визначено, що при внесенні 0,3 % насіння базилику у рецептуру підвищується в'язкість системи та збільшується стійкість при зберіганні [6].

Також встановлена доцільність використання пюре горобини у якості природнього консерванту, джерела сорбінової кислоти та комплексу БАР. Було визначено, що вміст пюре з плодів горобини збільшує терміни зберігання вершкових кремів на 48–54 год [7].

Відомо також про розроблення технології вершкового крему з використанням білково-рослинного напівфабрикату виготовленого на основі молочної сироватки. Встановлено, що використання напівфабрикату дозволяє скоротити тривалість технологічного процесу та отримати готову продукцію високої якості [8].

Закордонними вченими проведено дослідження щодо впливу модифікованого концентрату сироваткового білка на структурно-механічні властивості та стабільність вершкових кремів. Було встановлено, що термічно оброблені при нижчих значеннях рН та більш тривалому часі розчини модифікованого концентрату сироваткового білка підвищують в'язкість збитих вершків, їх стійкість, та зменшують синерезис [9].

Вченими досліджено перспективи використання МБКК у рецептурі білкового крему. У роботі [10] було зазначено, що копреципітати частково покращують якісні показники пінних систем за рахунок збільшення кількості білків у них, проте містять багато вологи, тому доцільною є розробка технології вершкового крему з використанням МБКК та додатковим внесенням до рецептури речовин-стабілізаторів.

Аналізуючи представлені дослідження, можна зробити висновок, що вони не були спрямовані на вирішення проблеми нестачі білкових речовин у харчуванні людини. Крім того, незважаючи на активну розробку харчових продуктів на основі МБКК, технології виробництва кондитерських кремів з використанням цієї сировини практично відсутні. Тому застосування МБКК дасть змогу розширити асортимент кондитерських кремів, які будуть мати значні переваги над аналогами за харчовою та біологічною цінністю. Отже, метою даної роботи є розроблення технології вершкового кондитерського крему з використанням молочно-білкового копреципітату та оцінка якості отриманого продукту.

Мета статті — розроблення технології вершкового кондитерського крему з використанням молочно-білкового копреципітату та оцінка якості отриманого продукту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення поставленої мети у якості контролю було обрано рецептуру вершкового крему, що включає наступні складові: вершки жирністю 33 %, сир к/м нежирний, цукор білий, цукор ванільний. За розробленою технологією передбачається внесення до рецептурного складу крему молочно-білкового копреципітату з метою збільшення відсоткового вмісту білка у готовому продукті, а також внесення порошку винного каменю у якості стабілізатора.

Для виготовлення 1 кг вершкового крему з МБКК вершки (521 г) охолоджують до температури 2...4 °С, збивають з цукром (105 г) та цукром ванільним (13 г) до утворення пухкої та однорідної консистенції. МБКК (214 г) разом з сиром к/м нежирним (142 г) протирають крізь сито та обережно додають до збитих вершків, всипають порошок винного каменю (5 г), збивають, поступово збільшуючи оберти, до однорідної та пухкої консистенції. Технологічну схему вершкового кондитерського крему з МБКК наведено на рис. 1.

Для оцінки якості розробленого вершкового кондитерського крему з використанням МБКК визначено хімічний склад, інтегральний скор, а також проведено органолептичну оцінку якості. У якості контрольного зразку обрано вершковий крем, приготований за класичною технологією. Хімічний склад розробленого продукту представлено у табл. 1.

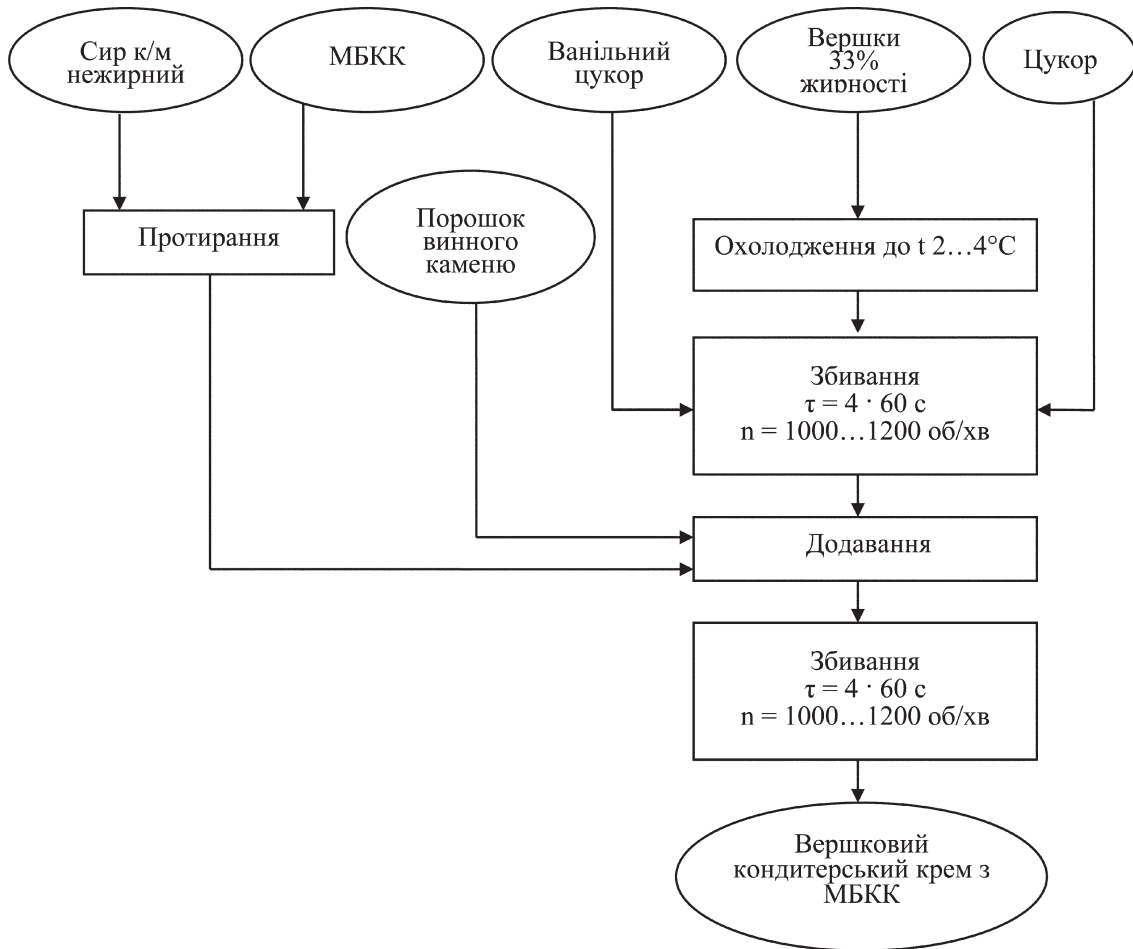


Рисунок 1 — Технологічна схема вершкового кондитерського крему з МБКК

Таблиця 1 — Хімічний склад та енергетична цінність розробленого продукту

Харчові речовини	Контроль	Вершковий крем з МБКК
Білки, г	7,2	9,7
Жири, г	17,5	17,9
Вуглеводи, г	16,6	14,2
Мінеральні речовини, мг		
Натрій (Na)	32,7	77,0
Калій (K)	93,6	169,3
Кальцій (Ca)	85,0	139,5
Магній (Mg)	12,0	33,6
Фосфор (P)	102,6	131,7
Залізо (Fe)	0,19	0,27
Вітаміни, мг		
Вітамін С	0,29	0,46
Вітамін В ₁	0,12	0,12
Вітамін В ₂	0,12	0,12
Вітамін РР	0,18	0,21
Енергетична цінність, ккал	229,0	231,3

З табл. 1 видно, що вміст білку у розробленому кремі збільшився на 34 % у порівнянні з контролем, що пояснюється внесенням копреципітату у рецептуру крему. Враховуючи те, що МБКК має більшу жирність (1,91 г/100 г), у порівнянні з сиром кисломолочним нежирним (0,6 г/100 г), спостерігається незначене збільшення вмісту жирів (на 1,3 %) у розробленому кремі. Крім того, спостерігається зниження вмісту вуглеводів (на 14,5 %), за рахунок зменшення кількості цукру у складі розробленого продукту.

Також спостерігається збільшення вмісту мінеральних речовин, а саме: Na — у 2,3 рази, K — у 1,8 разів, Ca — у 1,6 разів, Mg — у 2,8 разів, P — у 1,3 рази та Fe — у 1,5 разів.

З метою визначення ступеня задоволення добової потреби організму в основних харчових речовинах було розраховано інтегральний скор харчового продукту (табл.2). Інтегральний скор розробленого вершкового крему було розраховано на 144 г, що відповідає 330 ккал, тобто 10 % добової потреби в енергії людини (для чоловіка віком 18–29 років, III-ї групи інтенсивності праці).

Таблиця 2 — Інтегральний скор вершкового крему з МБКК у порівнянні з контролем

Харчові речовини	Добова потреба	Ступінь задоволення, %	
		Контроль	Вершковий крем з МБКК
1	2	3	4
Білки, г	106	10	13
Жири, г	107	23	24
Вуглеводи, г	478	5	4
Мінеральні речовини, мг			
Натрій (Na)	4000	1	3
Калій (K)	2500	5	10
Кальцій (Ca)	1200	10	17
Магній (Mg)	400	4	12
Фосфор (P)	1200	12	16
Залізо (Fe)	15	2	3
Вітаміни, мг			
Вітамін С	80	0,5	0,8
Вітамін В ₁	1,6	10	11
Вітамін В ₂	2,0	8	8
Вітамін РР	22	1	1

Дані табл. 2 свідчать про те, що розроблений продукт задовольняє добову потребу у білку на 13 %, у жирах на 24 % та вуглеводах на 4 %. Крім того, підвищилися показники ступеню задоволення потреби у мінеральних речовинах, а саме для калію — на 10 %, для кальцію — на 17 %, для магнію — на 12 %, для фосфору — на 16 %.

Результати органолептичної оцінки розробленого продукту представлено у вигляді профілограм (рис. 2).

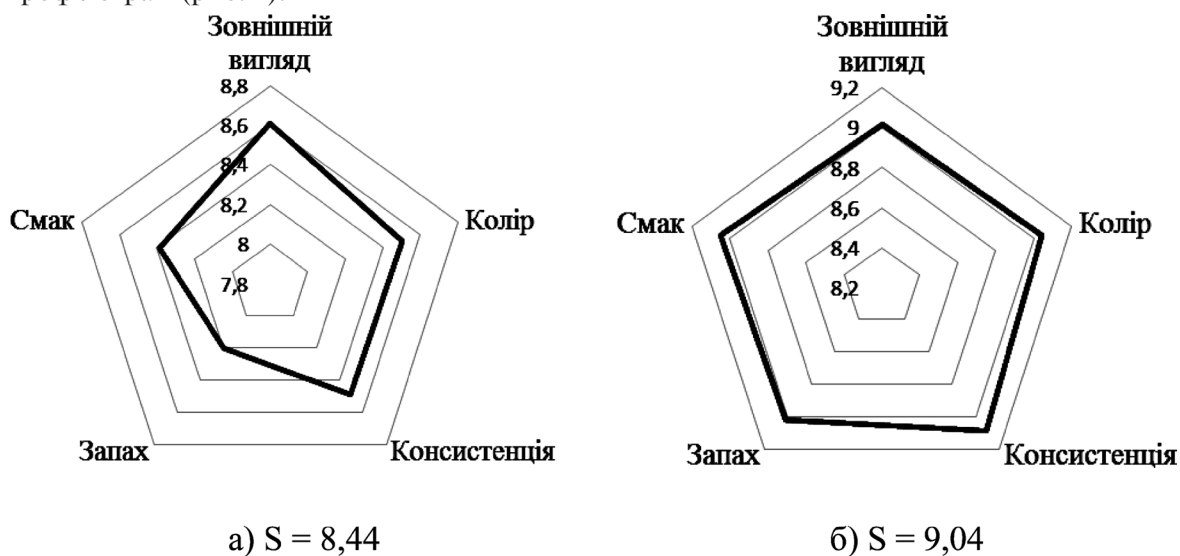


Рисунок 2 — Органолептичний профіль вершкового крему з МБКК (б) порівняно з контролем (а)

Як можна побачити на рис. 2, розроблений крем має покращені органолептичні показники, зокрема поліпшену консистенцію, також слід відмітити приємний запах та смак, який є менш солодким у порівнянні з контролем.

Висновки. Отже, згідно з отриманими даними, розроблений вершковий кондитерський крем з використанням молочно-білкового копреципітату має покращену харчову та біологічну цінність, а також високі органолептичні властивості. Впровадження даної технології у закладах ресторанного господарства дозволить збільшити та урізноманітнити асортимент кондитерських кремів, які будуть відрізнятися підвищеним вмістом білкових речовин та частково сприятиме вирішенню проблеми білкового дефіциту серед населення України.

Список літератури

1. Гніцевич В. А., Юдіна Т. І., Дейниченко Л. Г. Технологія та біологічна цінність молочно-білкових копреципітатів. *Товари і ринки*. 2016. № 2 (22). С. 148–158.
2. Криськова Л. П. Ринок кондитерського виробництва в Україні. *Стан і перспективи харчової науки та промисловості* : матеріали V міжнар. наук.-техн. конф., м. Тернопіль, 10–11 жовт. 2019 р. Тернопіль : ТНТУ, 2019. С. 141–142.
3. Гніцевич В. А., Дейниченко Л. Г. Хімічний склад копреципітатів на основі білково-вуглеводної молочної та рослинної сировини. *Перспективи розвитку м'ясної, молочної та олієжирової галузей у контексті євроінтеграції* : матеріали V міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 7–8 лист. 2016 р. Київ : НУХТ, 2016. С. 101–103.
4. Звягінцева-Семенець Ю. П., Камбулова Ю. В., Соколовська І. О., Кобилінська О. В., Колесник М. Дослідження процесу набухання полісахаридів для використання в технології вершкових кремів. *Харчова наука і технологія*. 2016. № 10 (2). С. 24–31.
5. Мельничук О. В., Камбулова Ю. В., Крапивницька І. О. та ін. Спосіб виробництва вершкового крему: пат. 56647 Україна: МПК А23L 1/0524 А23С 13/00 А23С 23/00. № u201007203 : заявл. 10.06.2010 ; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2. 2 с.
6. Farahmandfar, R., Asnaashari, M., Salahi, M. R., Khosravi, Rad T. Effects of basil seed gum, Cress seed gum and Quince seed gum on the physical, textural and rheological properties of whipped cream. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017. Vol. 98. pp. 820–828.
7. Сивній І., Оболкіна В. Природні консерванти в оздоблювальних напівфабрикатах з подовженим терміном зберігання. *Продовольча індустрія АПК*. 2011. № 4. С. 20–22.
8. Гніцевич В. А., Федотова Н. А. Обґрунтування використання білково-рослинного напівфабрикату у виробництві крему вершкового. *Наукові праці ОНАХТ*. 2010. № 38 (1). С. 209–213.
9. Sajedi M., Nasirpour A., Keramat J., Desobry S. Effect of modified whey protein concentrate on physical properties and stability of whipped cream. *Food Hydrocolloids*. 2014. Vol. 36. pp. 93–101.
10. Дейниченко Л. Г. Удосконалення якості високобілкових кондитерських кремів. *Modalități conceptuale de dezvoltare a științei moderne* : зб. наук. праць ЛОГОС, м. Бухарест, 20 лист. 2020. Бухарест, 2020. С. 78–79.

References

1. Gnitsevych, V., Yudina, T., Deinychenko, L. (2016). *Tekhnolohiya ta biolohichna tsinnist molochno-bilkovykh kopretsypitativ* [Technology and biological value of milk-protein co-precipitates]. *Tovary i ryinki* [Commodities and Markets], no. 2 (22), pp. 148–158.
2. Kryskova, L. (2019). *Rynok kondyterskoho vyrobnytstva v Ukraini* [Market of confectionary production in Ukraine]. *Stan i perspektivi kharchovoi nauki ta promislovosti : materialy V mizhnar. nauk.-techn. konf.* [State and prospects of food science and industry : materials V International scientific and technical Conference], Ternopil : TNTU, October 10-11 2019. Ternopil, pp. 141–142.
3. Gnitsevych, V., Yudina, T., Deinychenko, L. (2016). *Khimichni sklady kopretsypitativ na osnovi bilkovo-vuhlevodnoi molochnoi ta roslynnoi syrovyny* [Chemical composition of co-pre-

cipitates based on protein-carbohydrate milk and vegetable raw materials]. *Perspektyvy rozvytku miasnoi, molochnoi ta oliiezhyrovoi haluzei u konteksti yevrointehratsii : materialy V Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* [Prospects for the development of meat, dairy and oil and fat industries in the context of European integration : materials V International scientific-practical Conference]. Kyiv : NUFT, November 7–8 2016. Kyiv pp. 101–103.

4. Zvyagintseva-Semenets, Y.P., Kambulova, Y.V., Sokolovska, I. O., Kobylinska, O. V., Kolesnyk, M. (2016). *Doslidzhennia protsesu nabukhannia polisakharydiv dlia vykorystannia v tekhnologii vershkovykh kremiv* [Studying of Polysaccharides Swelling for the Use in Cream Technology]. *Kharchova nauka ta tehnologiya* [Food science and technology], no. 10 (2), pp. 24–31.

5. Melnychuk, O. V., Kambulova, Yu. V., Krapynytska, I. O. (2011) *Sposib vyrobnytstva vershkovoho kremu* [Method of producing cream] : patent 56647 Ukraine: MPK A23L 1/0524 A23C 13/00 A23C 23/00. № u201007203: stated 10.06.2010; published 25.01.2011, no. 2, pp. 2.

6. Farahmandfar, R., Asnaashari, M., Salahi, M. R., Khosravi Rad, T. (2017). Effects of basil seed gum, Cress seed gum and Quince seed gum on the physical, textural and rheological properties of whipped cream. *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 98. pp. 820–828.

7. Syvnii, I., Obolkina, V. (2011) *Pryrodni konservanty v ozdoblivalnykh napivfabrykatak z podovzhenym terminom zberihannia* [Natural preservatives in semi-finished products with extended shelf life]. *Prodovolcha industriya APK* [Food industry agro-industrial complex], no. 4, pp. 20–22.

8. Gnitsevych, V. A., Fedotova, N.A. (2010). *Obgruntuvannia vykorystannia bilkovoroslynnoho napivfabrykatu u vyrobnytstvi kremu vershkovoho* [Rationale for the use of herbal and semi-finished products in the production of cream]. *Naukovi pratsi ONAKHT* [Scientific works of ONAHT], no. 38 (1), pp. 209–213.

9. Sajedi, M., Nasirpour, A., Keramat, J., Desobry, S. (2014). Effect of modified whey protein concentrate on physical properties and stability of whipped cream. *Food Hydrocolloids*. Vol. 36. pp. 93–101.

10. Deinychenko, L. G. (2020). *Udoskonalennia yakosti vysokobilkovykh kondyterskykh kremiv* [Improving the quality of high-protein confectionery creams]. *Modalitãti conceptuale de dezvoltare a științei modern : zb. nauk. prats LOGOS* [Conceptual modalities of devolution to modern ceilings : collection of scientific works LOGOS], pp. 78–79. doi.org/10.36074/20.11.2020.v 5.24.

Objective. *The purpose of the article is to develop the technology of cream using milk-protein co-precipitates and assess the quality of the product. The article presents the problem of protein deficiency in the human diet, identifies how this problem affects human health. To solve this problem, it is proposed to develop the technology of food products that are popular in the domestic food market and in restaurants, using non-traditional high-protein raw materials.*

Methods. *During the work, the methods of analysis and synthesis, comparison, and system approach were used. The general chemical composition of the obtained product was determined by standard methods. The integral score was determined by the calculation method by weight of the product, which corresponds to 330 kcal (10% of the daily human energy requirement for a man aged 18–29 years, III group of labor intensity). Organoleptic evaluation of product was performed by the profile analysis method. Quality profiles were built using the MS Excel computing program.*

Results. *To solve the identified problem, the recipe of cream with low-fat cottage cheese was chosen as basis and control. To obtain a cream using milk-protein co-precipitates, the cooled cream was whipped with sugar and vanilla sugar, milk-protein co-precipitates and low-fat cottage cheese was wiped. The rubbed mixture was carefully added to the whipped cream and tartar powder was added. The resulting mixture was whipped to a homogeneous and loose consistency.*

An analysis of the chemical composition of the developed cream showed the increase in protein content by 34 %, in fat content — by 1,3 %, and reduce in carbohydrates content by 14,5 %. There also was an increase in mineral content.

An analysis of the integral score of the developed product was made. According to the obtained data, the developed cream provides a daily need for proteins by 13 %, in minerals — by the range of

3...17 %. *The constructed organoleptic profiles indicate an improvement in the consistency, odor and taste of the developed product compared to the control.*

The data presented in the article determine the feasibility of using the technology of the developed cream in restaurants to increase the range of products with high protein content, which will have a positive effect on solving the problem of food protein deficiency.

Key words: *protein deficiency, milk-protein co-precipitate, pastry products, cream, biological value.*

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-19-27

УДК 641.887:613.292:[546.15:634/635]

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, професор¹

Листопад Т. С., аспірант¹

Кравченко Т. В., канд. техн. наук, доцент²

¹ Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна), e-mail: lystopad.tamara.88@gmail.com.

² Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (м. Умань, Україна), e-mail: tamara.kravchenko2019@gmail.com.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ЯГІДНИХ СОУСІВ ІЗ ЙОДВМІЩУЮЧИМИ ДОБАВКАМИ

UDC 641.887:613.292:[546.15:634/635]

*Deinychenko G. V., Grand PhD of Technical Science,
Professor¹*

Lystopad T. S., postgraduate student¹

*Kravchenko T. V., PhD of Pedagogical Sciences,
Associate Professor²*

¹ State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: lystopad.tamara.88@gmail.com

² Uman State Pedagogical University named after Pavlo Tychyna, Uman, Ukraine, e-mail: tamara.kravchenko2019@gmail.com.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF PASTEURIZATION OF BERRY SAUCES WITH IODINE-CONTAINING ADDITIVES

Мета. Метою статті є підбір оптимальних показників пастеризації ягідних соусів із йодвміщуючими добавками, які є достатніми для знищення сторонньої мікрофлори та подовження терміну зберігання, але водночас з мінімальним негативним впливом, що обумовлений втратами поживних речовин та погіршенням структурної стійкості готового виробу під дією підвищених температур.

Методи. Планування та проведення досліджень здійснювали за схемою неповного факторного експерименту. Матеріалом досліджень став соус на основі пюре з ягід кизилу та чорниці з додаванням соку калини з йодвміщуючою добавкою, в якості якої використовувались водорості ламінарії. Під час досліджень визначали вплив пастеризації на: показник МАФAM за ДСТУ 8446:2015, вміст флавоноїдів — спектрофотометричним способом за допомогою методики кількісного визначення в перерахунку на кверцетин, показник седиментаційної стійкості — також фотометричним методом шляхом вимірювання оптичної густини зразків та проведенням подальших розрахунків.

Результати. В ході проведення досліджень було встановлено, що параметри пастеризації залежать від багатьох факторів, а отже є індивідуальними та потребують встановлення при розробці нових технологій. Підбір параметрів пастеризації здійснювали шляхом дослідження вибіркового показників мікробіологічної чистоти, біологічної цінності та колірного стану за різних умов. Результати досліджень показали, що оптимальні значення температури і тривалості пастеризації для цих показників є різними. А отже, були проведені розрахунки, за яких досягається мінімум функції для мікробіологічної чистоти за показником МАФAM та максимуми для загального вмісту флавоноїдів і показника седиментаційної стійкості. Розрахунки показали, що оптимальною є пастеризація за температури 82...85 °C протягом 3...5 хвилин.

Надійшла до редакції 15.10.2021 р. © Г. В. Дейниченко, Т. С. Листопад, Т. В. Кравченко, 2021

Ключові слова: ягідні соуси, параметри пастеризації, МАФАМ, флавоноїди, седиментаційна стійкість, матриця експерименту, оптимізація.

Постановка проблеми. Актуальність та доцільність розробки технології соусів з дикорослих та культивованих ягід з додаванням йодовміщуючих добавок була доведена та описана в попередніх дослідженнях [1]. На основі органолептичних, реологічних досліджень і досліджень щодо вмісту йоду в сировині та готових соусах, розроблено технології соусів із дикорослих та культивованих ягід із йодовміщуючими добавками [2, 3]. Проте для реалізації розробленого продукту в торговельних мережах із терміном придатності 24 місяці, виготовлений за розробленою рецептурою соус слід пастеризувати. Необхідність підбору параметрів пастеризації обумовлена протилежністю факторів впливу. З одного боку підвищення температури та тривалості обробки позитивно впливають на мікробіологічну чистоту та збереженість продукту в часі, з іншого — може спричинити негативний вплив на показники біологічної цінності та дестабілізації готового продукту [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Пастеризація — це спосіб технологічної обробки, спрямований на інактивацію більшості ферментів та пригнічення клітин вегетативних мікроорганізмів. До готового продукту можуть потрапити мікроорганізми як з поверхні ягід, які є нормальною мікрофлорою, так і під час обробки за рахунок забруднень на технологічних лініях. Один з найзручніших способів обмежити мікробний ризик — підвищити температуру продукту до смертельного для мікроорганізмів значення. Ці значення є загальновідомими, проте існує залежність від тривалості обробки, кількісної та якісної мікробної забрудненості, рН продукту, тобто хімічного складу тощо. А отже, незважаючи на значну кількість вже існуючих досліджень, питання встановлення параметрів, що забезпечують мікробіологічну чистоту продукту залишається виключним для кожної нової розроблюваної технології [5–8].

Під час термічної обробки із ягідною сировиною відбувається ряд трансформацій, зокрема й негативних таких як втрата біологічно активних речовин, утворення небажаних або шкідливих для здоров'я сполук тощо.

Одними з основних біологічно активних речовин дикорослих ягід є поліфенольні сполуки, які здебільшого представлені флавоноїдами [9]. Визначенню якісних і кількісних змін, які відбуваються із поліфенолами плодів та ягід під дією технологічних чинників присвячено низку робіт [10, 11, 12]. Провівши аналіз існуючих досліджень можна дійти висновку, що незважаючи на загальні закономірності впливу термічної обробки на поліфенольні сполуки, встановити їх точну кількісну оцінку практично неможливо, що обумовлено широким спектром причин, зокрема різноманітністю хімічних сполук, що спричиняють різні ферментативні та неферментативні реакції та ін. Крім того, ці ж самі причини впливають й на неоднакову зміну колоїдного стану ягідної сировини під дією температур [13]. Таким чином, аналіз досліджень дозволяє дійти висновку, що дослідження впливу параметрів пастеризації є актуальним питанням у технологіях ягідних соусів.

Мета статті. Метою є підбір оптимальних показників пастеризації ягідних соусів, які є достатніми для знищення сторонньої мікрофлори та подовження терміну зберігання, але водночас з мінімальним негативним впливом, що обумовлений втратами поживних речовин та погіршенням структурної стійкості готового виробу під дією підвищених температур.

Виклад основного матеріалу дослідження. Підбір параметрів пастеризації здійснювали шляхом дослідження вибірових показників мікробіологічної чистоти, біологічної цінності та колоїдного стану за різних умов і подальшої оптимізації параметрів пастеризації ягідних соусів з додаванням водоростевої сировини.

Планування та проведення досліджень здійснювали за схемою неповного факторного експерименту. Матеріалом досліджень став соус на основі пюре з ягід кизилу та чорниці з додаванням соку калини, в якості йодвміщуючої добавки використовувались водорості ламінарії [14].

Для складання матриці експерименту на першому етапі проведено вибір значень нульового рівня дослідних факторів варіювання:

x_1 — температура пастеризації, °C;

x_2 — тривалість пастеризації, хв;

x_3 — вміст ягід, г.

Визначали вплив пастеризації на показники:

1. Кількісного вмісту мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів (МАФAM).

2. Загального вмісту флавоноїдів.

3. Седиментаційної стійкості. Дослідження проводили на 10-й день після пастеризації.

Відбір проб для мікробіологічного аналізу проводили за ДСТУ 8051:2015, готування проб — за ДСТУ 7963:2015. Випробування за показником МАФAM проводили за ДСТУ 8446:2015.

Визначення флавоноїдів у соусах проводили за допомогою методики кількісного визначення в перерахунку на кверцетин [15]. Точну наважку зразка соусу, близько 1,0 г, поміщали в колбу з шліфом місткістю 150 мл, додавали 30 мл 70 % етанолу, колбу приєднували до зворотного холодильника і нагрівали на водяній бані протягом 30 хвилин. Потім колбу охолоджували під струменем води до кімнатної температури, вміст колби фільтрували крізь паперовий фільтр у мірну колбу місткістю 100 мл. Обсяг фільтрату доводили до мітки 70 % спиртом. Повноту вилучення флавоноїдів із зразків підтверджували негативною ціанідиновою пробою. 10 мл отриманого спиртового розчину упарювали на водяній бані, залишок висушували в сушильній шафі при 110 °C протягом 15 хвилин, потім розчиняли в 10 мл 10% сірчаної кислоти. Гідроліз проводили в колбі, приєднаній до зворотного холодильника, із нагріванням на киплячій водяній бані протягом 2 годин. Потім колбу охолоджували до кімнатної температури і її вміст фільтрували крізь паперовий фільтр. Осад, що залишився на фільтрі, промивали очищеною водою і розчиняли в 100 мл гарячого 70 % етанолу.

Аліквоту отриманого розчину об'ємом 10 мл доводили до мітки в колбі на 25 мл 70 % етиловим спиртом і вимірювали оптичну густину отриманого розчину на спектрофотометрі в діапазоні довжин хвиль 250–450 нм у кюветі з товщиною поглинального шару 10 мм. Вміст суми флавоноїдів у перерахунку на кверцетин обчислювали за формулою:

$$X = \frac{A_x \times C_{no} \times W \times 100}{A_{no} \times C_o \times V_a}, \quad (1)$$

де A_x — оптична щільність дослідного розчину; C_{no} — концентрація розчину стандартного зразка кверцетину; W — розведення, мл; A_{no} — оптична щільність розчину стандартного зразка кверцетину; C_o — концентрація дослідного розчину; V_a — об'єм аліквоти, мл.

Седиментаційний аналіз проводили фотометричним методом шляхом вимірювання оптичної густини зразків [268]. Частку частинок, що випали в осад у часі, розраховували за формулою:

$$Q_t = \left(1 - \frac{D_t}{D_0}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

де Q_t — доля частинок, що випала в осад в часі, %; D_0 — оптична густина в початковий момент часу; D_t — оптична густина в певний момент часу.

Похибка експерименту становила 1%.

Результати цих трьох експериментів мають позначення y_1 , y_2 і y_3 , середнє значення за трьома експериментами — y_{cp} , стандартне відхилення — σ , дисперсія — σ^2 .

Унаслідок реалізації матриці експерименту отримано такі результати (табл. 1–3).

Розраховане через дисперсію значення критерію Кохрена не перевищує табличного значення:

— для кількісного вмісту МАФAM — $0,174 (G_p) < 0,19 (G_m)$,

— для загального вмісту флавоноїдів — $0,175 (G_p) < 0,19 (G_m)$,

— для показника седиментаційної стійкості — $0,133 (G_p) < 0,19 (G_m)$,

тобто дисперсії однорідні, що свідчить про врахування всіх факторів, які впливають на густину.

Таблиця 1 — Результати реалізації матриці експерименту для соусу за показником мікробіологічної чистоти

№ з/п	Рівень фактора варіювання			МАФAM, КУO в 1 г				σ^2
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_{cp}	
1	60	3	79	500	500	500	500,00	0,00
2	60	3	77	490	500	500	496,67	33,33
3	60	5	79	410	390	410	403,33	133,33
4	60	5	77	500	490	490	493,33	33,33
5	60	10	79	100	100	100	100,00	0,00
6	60	10	77	100	100	90	96,67	33,33
7	80	3	79	50	40	50	46,67	33,33
8	80	3	78	50	40	60	50,00	100,00
9	80	5	79	20	30	20	23,33	33,33
10	80	5	77	30	50	30	36,67	133,33
11	80	10	79	20	20	0	13,33	133,33
12	80	10	78	0	10	20	10,00	100,00
13	100	3	79	0	0	0	0,00	0,00
14	100	3	77	0	0	0	0,00	0,00
15	100	5	79	0	0	0	0,00	0,00
16	100	5	78	0	0	0	0,00	0,00
17	100	10	79	0	0	0	0,00	0,00
18	100	10	77	0	0	0	0,00	0,00

Таблиця 2 — Результати реалізації матриці експерименту для соусу за показником вмісту флавоноїдів

№ з/п	Рівень фактора варіювання			Вміст флавоноїдів, мг/100 г				σ^2
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_{cp}	
1	60	3	79	131	131	131	131	0
2	60	3	77	129	131	130	130	0,333
3	60	5	79	131	133	132	132	0
4	60	5	77	126	126	127	126,33	1,33
5	60	10	79	123	126	124	124,33	1,33
6	60	10	77	114	116	114	114,67	1
7	80	3	79	169	169	169	169	0,333
8	80	3	78	167	169	169	168,33	0,333
9	80	5	79	168	168	169	168,33	2,33
10	80	5	77	167	164	166	165,67	1
11	80	10	79	160	160	161	160,33	1,33
12	80	10	78	163	165	162	163,33	0,333
13	100	3	79	144	144	144	144	0
14	100	3	77	136	134	135	135	0,333
15	100	5	79	142	142	143	142,33	1
16	100	5	78	143	145	143	143,67	1
17	100	10	79	133	135	134	134	0,333
18	100	10	77	144	144	145	144,33	1

Таблиця 3 — Результати реалізації матриці експерименту для соусу за показником стійкості

№ з/п	Рівень фактора варіювання			Стійкість, %				σ^2
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_{cp}	
1	60	3	79	78	77	78	77,67	0,33
2	60	3	77	76	76	77	76,33	0,33
3	60	5	79	81	80	81	80,67	1,00
4	60	5	77	82	82	82	82,00	1,00
5	60	10	79	83	84	83	83,33	0,33
6	60	10	77	84	85	83	84,00	0,33
7	80	3	79	95	96	95	95,33	0,33
8	80	3	78	97	96	98	97,00	0,33
9	80	5	79	96	97	95	96,00	0,33
10	80	5	77	95	97	96	96,00	1,00
11	80	10	79	93	94	94	93,67	0,33
12	80	10	78	94	92	92	92,67	1,33
13	100	3	79	85	85	86	85,33	0,33
14	100	3	77	90	93	90	91,00	1,33
15	100	5	79	84	83	81	82,67	0,33
16	100	5	78	82	82	83	82,33	0,33
17	100	10	79	75	75	75	75,00	0,33
18	100	10	77	71	70	71	70,67	0,33

Для опису цього експерименту використовується така модель:

$$Y(x_1, x_2, x_3) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2 + a_6x_3^2 + a_7x_1x_2 + a_8x_2x_3 + a_9x_1x_3 + a_{10}x_1x_2x_3, \quad (3)$$

де $Y(x_1, x_2, x_3)$ — функція густини; $a_0, a_1 \dots a_{10}$ — невідомі коефіцієнти.

Для знаходження коефіцієнтів $a_0, a_1 \dots a_{10}$ застосовується метод найменших квадратів. Сформовано функціонал, мінімізація якого дозволить знайти значення цих коефіцієнтів:

$$J = \sum_{i=1}^{12} [Y(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}) - y_{cpi}]^2, \quad (4)$$

де x_{1i} — значення температури пастеризації для i -го експерименту; x_{2i} — значення тривалості пастеризації для i -го експерименту; x_{3i} — значення вмісту ягід для i -го експерименту; y_{cpi} — середнє значення параметра для i -го експерименту.

Мінімізація функціонала (2) реалізовувалась таким чином. Знаходження часткових похідних від функціонала (2) за невідомими коефіцієнтами $a_0, a_1 \dots a_{10}$ та прирівнювання їх до нуля дає систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яка складається з одинадцяти рівнянь з одинадцятьма невідомими. Розв'язання цієї системи реалізовувалось у програмі MathCad та дозволило отримати рівняння залежності досліджуваного параметра від температури і тривалості пастеризації та вмісту ягід:

— для мікробіологічної чистоти за показником МАФМ

$$Y_1(x_1, x_2, x_3) = -1,788 \times 10^4 - 50,65x_1 + 262,8x_2 + 501,5x_3 + 0,3584x_1^2 - 3,231x_2^2 - 2,867x_3^2 + 0,5672x_1x_2 - 4,612x_2x_3 - 0,3170x_1x_3 + 0,01157x_1x_2x_3; \quad (5)$$

— для загального вмісту флавоноїдів

$$Y_2(x_1, x_2, x_3) = -13370 + 31,71x_1 + 279,3x_2 + 318,2x_3 - 0,07876x_1^2 - 0,2455x_2^2 - 1,939x_3^2 - 3,846x_1x_2 - 3,589x_2x_3 - 0,2436x_1x_3 + 0,04979x_1x_2x_3; \quad (6)$$

— для показника седиментаційної стійкості

$$Y_3(x_1, x_2, x_3) = 772,6 - 4,612x_1 - 100,4x_2 - 15,26x_3 - 0,03551x_1^2 - 0,1007x_2^2 + 0,04024x_3^2 + 1,560x_1x_2 + 1,377x_2x_3 + 0,1385x_1x_3 - 0,021x_1x_2x_3; \quad (7)$$

Наступним кроком було знаходження оптимальних значень температури і тривалості пастеризації та вмісту ягід, за яких досягається мінімум функції (3.1) для мікробіологічної чистоти за показником МАФAM та максимумами для загального вмісту флавоноїдів і показника седиментаційної стійкості. Оскільки функція є поліномом, зазвичай максимум такої функції знаходиться шляхом прирівнювання до нуля похідних за факторами x_1, x_2, x_3 і розв'язання отриманої системи трьох рівнянь із трьома невідомими. У наших дослідженнях використано програму MatCad і застосовано стандартну процедуру для визначення мінімуму. Реалізація зазначеної процедури дозволила отримати такі оптимальні значення дослідних факторів варіювання (табл. 4).

Таблиця 4 — Залежність параметра оптимізації від вмісту ягід

Показники	Фактори пастеризації			Значення параметра оптимізації
	температура пастеризації, °C	тривалість пастеризації, хв	вміст ягід, г	
МАФAM	85	10	77	-59,4 КУО в 1 г
	85	10	79	-77,4 КУО в 1 г
Вміст флавоноїдів	82	4,2	77	171 мг/100г
	82	4,2	79	167 мг/100г
Седиментаційна стійкість	85	3	77	96%
	85	3	79	99%

Таким чином, спираючись на дані, отримані в ході дослідження, оптимальною є пастеризація за температури 82...85 °C протягом 3...5 хвилин. Такі параметри дозволять отримати продукт задовільної мікробіологічної чистоти, з оптимальними показниками біологічної цінності та колоїдного стану продукту.

Наведені дані узгоджуються з аналогічними дослідженнями, проведеними науковцями Національного університету харчових технологій стосовно вмісту флавоноїдів [16]. Зменшення або збільшення температури пастеризації призводить до підвищення втрат флавонолідів і антоціанів. Такий ефект спостерігається через ферментативні процеси та внаслідок термічної деструкції відповідно.

Висновки. В ході проведення досліджень було встановлено, що параметри пастеризації залежать від багатьох факторів, а отже є індивідуальними та потребують встановлення при розробці нових технологій. Виявлено, що задовільна мікробіологічна чистота ягідних соусів з йодвміщуючими добавками досягається щонайменше при температурі 80 °C за тривалості обробки 10 хвилин. Найбільший вміст флавоноїдів та найвища седиментаційна стійкість спостерігаються за тієї ж температури, але за тривалості обробки 3 хвилини, що є недостатнім для збереження мікробіологічної чистоти. Математичне представлення та обробка даних за рахунок реалізацій матриць експериментів та подальше знаходження оптимальних значень, за яких досягається мінімум функції для мікробіологічної чистоти за показником МАФAM та максимумами для загального вмісту флавоноїдів і показника седиментаційної стійкості дозволив визначити, що оптимальною є пастеризація за температури 82...85 °C протягом 3...5 хвилин.

Список літератури

1. Дейниченко Г. В., Листопад Т. С., Колісниченко Т. О. Обґрунтування доцільності використання водоростевої сировини при виготовленні соусів із дикорослих та культивованих ягід. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2018. 18 (1). С. 29–36.
2. Дейниченко Г. В., Колісниченко Т. О., Листопад Т. С. Розробка технології ягідних соусів з йодвміщуючими добавками з урахуванням їх впливу на органолептичні показники. *Науковий вісник Львівського Національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*. 2018. № 20 (85). С. 107–113. doi :10.15421/nvlvet8520.

3. Lystopad T., Deinychenko G., Pasichnyi V., Shevchenko A., Zhukov Y. Rheological studies of berry sauces with iodine-containing additives. *Ukrainian Food Journal*. 2020. Vol. 9, Issue 3. pp. 651–663. doi :10.24263/2304-974X-2020-9-3-13.
4. Jing Peng, Juming Tang, Diane M. Barrett, Shyam S. Sablani, Nathan Anderson, Joseph R. Powers Thermal pasteurization of ready-to-eat foods and vegetables: Critical factors for process design and effects on quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017. Vol. 57:14, pp. 2970–2995, doi : 10.1080/10408398.2015.1082126.
5. Catherine Renard, Jean Francois Maingonnat. Thermal Processing of Fruits and Fruit Juices. Thermal Food Processing: New technologies and qualities issues, CRC Press Boca Raton, 686 p., 2012, *Contemporary Food Engineering*, 9781439876787, fhal-02803675f.
6. Silva F. V. M., Gibbs P. Target selection in designing pasteurization processes for shelf-stable high-acid fruit products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2004. Vol. 44(5). pp. 353–360. doi : 10.1080/10408690490489251.
7. Silva F. V. M., Gibbs P. Alicyclobacillus acidoterrestris spores in fruit products and design of pasteurization processes. *Trends in Food Science & Technology*. 2001. Vol. 12(2). pp. 68–74. doi : 10.1016/S0924-2244(01)00070-X.
8. Gama J. J. T., Celia M. de Sylos. Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice. *Food Chemistry*. 2007. Vol. 100 (4). pp. 1686–1690.
9. Drózdź, P., Šežienė, V. & Pyrzynska, K. Phytochemical Properties and Antioxidant Activities of Extracts from Wild Blueberries and Lingonberries. *Plant Foods Hum Nutr*. 2017. Vol. 72. pp. 360–364. doi : 10.1007/s11130-017-0640-3.
10. Cristina Zapata, Alzate Arbelaez Andres Felipe, Karol Zapata, Juan Arias, Miguel Puertas, Benjamin Rojano. Effect of pH, temperature and time of extraction on the antioxidant properties of Vaccinium meridionale Swartz. *Journal of Berry Research*. 2018. Vol. 9. pp. 1–11. doi : 10.3233/JBR-18299.
11. Connor AM, Luby JJ, Hancock JF, Berkheimer S, Hanson EJ. Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold-temperature storage. *J Agric Food Chem*. 2002. Vol. 50(4). pp. 893–901. doi : 10.1021/jf011212y. PMID: 11829664.
12. Jairo Mercado Camargo, Arnulfo Taron Dunoyer, Luis A. García-Zapateiro. The effect of storage temperature and time on total phenolics and enzymatic activity of sapodilla. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2016. Vol. 69(2). pp. 7955–7964. doi :10.15446/rfna.v69n2.59140.
13. Solanilla Duque, José Fernando, Diego Fernando Roa, Guillermo Arrazola. Colloidal applications in the food industry: Prospects and trends in healthy products. *Sylwan*. 2020. Vol.164(11). pp. 189–205.
14. Листопад Т. С., Колісниченко Т. О., Дейниченко Г. В. (2018). Спосіб отримання ягідного соусу з ламінарією : пат. на винахід № 119822 Україна: МПК А23L23/00 А23L17/60 А23L21/10 / власник Дніпровський національний університет ім. О. Гончара № а201803883; заявл. 11.04.2018; опубл. 12.08.2019.
15. Peñarrieta Mauricio, Alvarado Antonio, Bergenståhl Björn, Åkesson Björn. Spectrophotometric methods for the measurement of total phenolic compounds and total flavonoids in foods. *Revista Boliviana de Química*. 2007. Vol. 24 (1), pp. 5–9. Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Bolivia
16. Матко С. В., Мельник Л. М., Шейко Т. В., Ткаченко С. В. Вплив теплового оброблення та прянощів на збереженість біофлавоноїдів кизилу при виробництві соусів. *Продовольчі ресурси*. 2018. № 11. С. 110–115.

References

1. Deinychenko, G. V., Lystopad, T. S., Kolisnychenko, T. O. (2018). *Obgruntuvannia dotsilnosti vykorystannia vodorostevoi syrovyny pry vyhotovlenni sousiv iz dykoroslykh ta kultyvovanykh yahid* [Substantiation of expediency of using algae raw materials in the manufacture of sauces from wild and cultivated berries]. *Praci Tavrijskogo derzhavnogo agrotexnologichnogo universytetu* [Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University], no. 18 (1), pp. 29–36.

2. Deinychenko, G. V., Kolisnychenko T. O., Lystopad, T. S. (2018). *Rozrobka tekhnologii yahidnykh sousiv z yodvmishchuiuchymy dobavkamy z urakhuvanniam yikh vplyvu na orhanoleptychni pokaznyky* [Development of technology of berry sauces with iodine-containing additives taking into account their influence on organoleptic parameters]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho Natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii im. S. Z. Hzhyskoho* [Scientific Bulletin of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S. Z. Gzhysky], no. 20 (85), pp. 107–113. doi :10.15421/nlvvet8520.
3. Lystopad T., Deinychenko G., Pasichniy V., Shevchenko A., Zhukov Y. (2020). Rheological studies of berry sauces with iodine-containing additives. *Ukrainian Food Journal*. Vol. 9, Issue 3. pp. 651–663. doi :10.24263/2304-974X-2020-9-3-13.
4. Jing Peng, Juming Tang, Diane M. Barrett, Shyam S. Sablani, Nathan Anderson, Joseph R. (2017). Powers Thermal pasteurization of ready-to-eat foods and vegetables: Critical factors for process design and effects on quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 57:14, pp. 2970–2995, doi : 10.1080/10408398.2015.1082126.
5. Catherine Renard, Jean Francois Maingonnat. (2012). Thermal Processing of Fruits and Fruit Juices. Thermal Food Processing: New technologies and qualities issues, CRC Press Boca Raton, 686 p., *Contemporary Food Engineering*, 9781439876787, fhal-02803675f.
6. Silva F. V. M., Gibbs P. (2004). Target selection in designing pasteurization processes for shelf-stable high-acid fruit products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 44 (5). pp. 353–360. doi : 10.1080/10408690490489251.
7. Silva F. V. M., Gibbs P. (2001). Alicyclobacillus acidoterrestris spores in fruit products and design of pasteurization processes. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 12(2). pp. 68–74. doi : 10.1016/S0924-2244(01)00070-X.
8. Gama J. J. T., Celia M. de Sylos. (2007). Effect of thermal pasteurization and concentration on carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice. *Food Chemistry*. Vol. 100 (4). pp. 1686–1690.
9. Drózdź, P., Šežienė, V. & Pyrzynska, K. (2017). Phytochemical Properties and Antioxidant Activities of Extracts from Wild Blueberries and Lingonberries. *Plant Foods Hum Nutr*. Vol. 72. pp. 360–364. doi : 10.1007/s11130-017-0640-3.
10. Cristina Zapata, Alzate Arbelaez Andres Felipe, Karol Zapata, Juan Arias, Miguel Puertas, Benjamin Rojano. (2018). Effect of pH, temperature and time of extraction on the antioxidant properties of Vaccinium meridionale Swartz. *Journal of Berry Research*. Vol. 9. pp. 1–11. doi : 10.3233/JBR-18299.
11. Connor A. M., Luby J. J., Hancock J. F., Berkheimer S., Hanson E. J. (2002). Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold-temperature storage. *J Agric Food Chem*. Vol. 50 (4). pp. 893–901. doi : 10.1021/jf011212y. PMID: 11829664.
12. Jairo Mercado Camargo, Arnulfo Taron Dunoyer, Luis A. García-Zapateiro 2016.. The effect of storage temperature and time on total phenolics and enzymatic activity of sapodilla. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Vol. 69(2). pp. 7955–7964. doi :10.15446/rfna.v69n2.59140.
13. Solanilla Duque, José Fernando, Diego Fernando Roa, Guillermo Arrazola (2020). Colloidal applications in the food industry: Prospects and trends in healthy products. *Sylwan*. 2020. Vol.164(11). pp. 189–205.
14. Lystopad, T. S., Kolisnychenko, T. O., Deinychenko, G. V. (2018). The method of obtaining berry sauce with kelp : a patent for the invention № 119822 Ukraine: IPC A23L23 / 00 A23L17 / 60 A23L21 / 10 / owner — Oles Honchar Dnipro National University № a201803883; claimed 11/04/2018; published on August 12, 2019.
15. Peñarrieta Mauricio, Alvarado Antonio, Bergenståhl Björn, Åkesson Björn (2007). Spectrophotometric methods for the measurement of total phenolic compounds and total flavonoids in foods. *Revista Boliviana de Química*. Vol. 24 (1) , pp. 5–9.
16. Matko, S. V., Melnyk, L. M., Sheiko, T. V., Tkachenko, S. V. (2018). *Vplyv teplovoho obroblynnia ta pryanozhchiv na zberezhenist' bioflavonoyidiv kyzylu pry vyrobnytstvi sousiv* [Influence of heat treatment and spices on the preservation of dogwood bioflavonoids in the production of sauces]. *Prodovolchi resursy* [Food resources], no. 11, pp. 110–115.

Objective. The purpose of the article is to select the optimal indicators of pasteurization of berry sauces with iodine-containing additives, which are sufficient to destroy foreign microflora and prolong shelf life, but at the same time with minimal negative impact due to nutrient losses and deterioration of structural stability of the finished product.

Methods. Planning and conducting research was carried out according to the scheme of incomplete factorial experiment. The material of the research was a sauce based on puree of dogwood and blueberry berries with the addition of viburnum juice with an iodine-containing additive, namely Laminari seaweed was used. During the studies, the effect of pasteurization on: mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microflora according to DSTU 8446: 2015, flavonoid content — spectrophotometrically method using the method of quantification in recalculation of quercetin, sedimentation rate — also by the photometric method, which included measuring the optical density of the samples and conducting further calculations.

Results. In the course of research it was found that the parameters of pasteurization depend on many factors, and therefore are individual and need to be established in the development of new technologies. The selection of pasteurization parameters was carried out by studying the sample indicators of microbiological purity, biological value and colloidal state under different conditions. The results showed that the optimal values of temperature and duration of pasteurization for these indicators are different. Therefore, calculations were performed according to which the minimum function for microbiological purity is achieved in terms of mesophilic aerobic and optionally anaerobic microflora and the maximums for the total content of flavonoids and sedimentation resistance. Calculations have shown that the optimal pasteurization at a temperature of 82...85 °C for 3–5 minutes.

Key words: berry sauces, pasteurization parameters, QMAFAnM, flavonoids, sedimentation resistance, experimental matrix, optimization.

Ткаченко Л. В., канд. техн. наук,

стар. наук. співробітник

Процан Н. В., канд. техн. наук

Державна наукова установа Український науково-дослідний інститут спирту та біотехнології продовольчих продуктів (м. Київ, Україна), e-mail: lubashev28@gmail.com, protsannataly@gmail.com.

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ МЕЛЯСИ З ЦУКРОВОГО БУРЯКУ ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ

UDC 663.5:664.1

Tkachenko L. V., PhD in Engineering Science,

Senior Research Fellow

Protsan N. V., PhD in Engineering Science

State Scientific Institution Ukrainian Research Institute for Alcohol and Biotechnology of Food Products (Kyiv, Ukraine), e-mail: lubashev28@gmail.com, protsannataly@gmail.com.

CRITERIA FOR EVALUATING THE INDICATORS OF SUGAR BEET MOLASSES AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF BIOETHANOL

Мета. Встановити критерії оцінки бурякової меляси за показниками, які не регламентовано у діючому ДСТУ 3696-1998, з точки зору ефективного використання меляси для виробництва біоетанолу.

Методи. Під час досліджень використано стандартні методи аналізу показників меляси відповідно до ДСТУ 3696. Метод лабораторного зброджування «бродильна проба» здійснювали згідно з ДСТУ 5072:2008. Показники дефектності меляси визначали за загальноприйнятими в спиртовій промисловості методами: масову частку загального азоту — за методом К'ельдаля; масову частку аміноного азоту — методом формольного титрування; масову частку фосфору — за колориметричним методом Бригса; масову частку летких кислот, масову частку сірчистого ангідриду за методиками, розробленими ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод»; масову частку калію, натрію кальцію — за допомогою полум'яного фотометра СЛ 378; масову частку колоїдних речовин — за методом Харіна та Думанського. Показник колірності меляси визначали колориметрично за допомогою спектрофотометра КФК-3-01, використовуючи дистильовану воду в якості контрольного розчину. Показник доброякісності меляси розраховували як відношення суми цукрів, що зброджуються до масової частки сухих речовин.

Результати. Досліджено десять зразків меляси з цукрового буряку різних регіонів України за показниками згідно з вимогами ДСТУ 3696. Визначено, що усі десять зразків меляси за показниками діючого документу, відповідають нормам. Лабораторне зброджування меляси показало, що вихід спирту в усіх десяти зразках був нижче нормативного виходу на 1–2 декалітрів з 1 тонни умовного крохмалю. Проведено аналіз зразків меляси за 12 показниками, які відносяться до показників дефектності. Визначено три показника, які в усіх десяти зразках меляси, значно перевищують граничні межі: масова частка летких кислот; масова частка колоїдних речовин та колірність. Ці показники здійснюють найбільш негативний вплив на бродильну активність дріжджових клітин. Для підвищення ефективності виробництва біоетанолу з меляси встановлено критерії оцінки придатності меляси за показниками, значення яких має становити: масова частка летких кислот — не більше 1,0%; масова частка колоїдних речовин — не більше 2,8%; колірність — більше 40% по відношенню до світлопропускання води.

Ключові слова: цукробурякова меляса, зброджування, показники дефектності, показник «доброякісність», леткі кислоти, колоїдні речовини, колірність, вихід спирту, біоетанол.

Постановка проблеми. Виробництво біоетанолу з поновлюваних джерел з метою використання на транспорті, в даний час, має все більший попит у всьому світі через постійне виснаження викопних видів палива, економічних і політичних криз і зростаючої заклопотаності з приводу екологічної безпеки [1].

Основною сировиною для виробництва біоетанолу в Україні є бурякова меляса. Показники меляси регламентує державний стандарт України [2]. При спиртовому зброджуванні меляси, яка характеризується показниками, що відповідають вимогам діючого стандарту, вихід етилового спирту з тонни умовного крохмалю сировини нижче за нормативний. При зменшенні виходу етилового спирту реально знижується ефективність виробництва біоетанолу з меляси .

Перспективним та актуальним напрямом досліджень для підвищення ефективності використання цукробурякової меляси у виробництві біоетанолу є встановлення критеріїв оцінки показників меляси, які не регламентовано у діючому ДСТУ 3696.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Світова спільнота удосконалює та розвиває біоенергетику, яка базується на розробці та впровадженні інноваційних, наукоємних та ефективних технологій енергогенерації з використанням відновлювальних сировинних ресурсів [3].

Виробництво біоетанолу є сектором біопаливної галузі, що наразі розвивається найбільш динамічно [4]. На його частку припадає 85 % світового виробництва біопалив. Найбільші країни-виробники — США і Бразилія — забезпечують 89 % загальносвітового виробництва. В ЄС працює близько 50 заводів з випуску біоетанолу, які забезпечують 10–15 % світового виробництва. Головним напрямом використання біоетанолу є отримання паливних сумішей (етанол + бензин) з високим енерговмістом. В Україні біоетанол отримують з меляси. Його річне виробництво становить 36 тис. т, що відповідає приблизно 0,7 % світового виробництва.

Розробці прогресивних способів біоконверсії меляси в етиловий спирт, а також впливу складових меляси на процеси життєдіяльності дріжджів під час спиртового бродіння присвячені дослідження багатьох зарубіжних вчених, а також провідних вчених України: В. О. Маринченка, В. М. Швеця, В. А. Домарецького, П. Л. Шияна, О. Д. Коваленка, С. Т. Олійнічука та ін. [5–9].

Меляса — це сиропоподібний побічний продукт, який одержують після кристалізації цукру з концентрованого цукрового соку, одержаного з коренів цукрових буряків (*Beta vulgaris L.*) [6]. Меляса має високий вміст цукру, темно-коричневий колір, присмак карамелі.

Мелясу цукробурякову характеризують як концентрований розчин органічних та неорганічних речовин, в якій міститься 70–80% сухих речовин та 20–30 % води [7]. Сухі речовини меляси розподіляються таким чином: сахароза — 60 % , без азотні органічні речовини — 16,7 %, азотисті речовини — 14,8 %, мінеральні речовини (зола) — 8,5 % . До цукрів меляси, які зброджуються дріжджами в спирт, відносять також інвертний цукор (0,1–1,2%), рафінозу (0,1–2,0 %), яка зброджується на 1/3 частину та пентозани (0,2–0,35 %). Якщо вміст інвертного цукру в мелясі перевищує допустиме значення, то це вказує на її дефектні якості. У цьому випадку в мелясі міститься більша кількість шкідливих речовин, які утворилися в процесі цукроваріння і негативно впливають на розмноження дріжджів та процес спиртового бродіння. Крім цукрів, меляса містить органічні та неорганічні речовини, які впливають на життєдіяльність дріжджів та визначають придатність меляси для спиртового виробництва.

Частина органічних та неорганічних речовин у мелясі знаходиться в колоїдному стані. Загальна кількість колоїдів на масу меляси складає 4–5% [8]. Ці сполуки позитивно заряджені і їх дисперсність залежить від рН середовища. Колоїди суттєво впливають на фізико-хімічні якості меляси та її розчинів, мають поверхневу активність і тому добре адсорбуються на оболонках мікроорганізмів, заважаючи обміну речовин між клітинами дріжджів та середовищем.

У мелясі містяться легкі та нелеткі органічні кислоти, які утворюються в процесі цукроваріння [10, 11]. На процес спиртового збродження мелясного суслу особливо нега-

тивно впливають леткі органічні кислоти: мурашина, оцтова, пропіонова, масляна, ізомасляна, валер'янова та капронова. Присутність у мелясі летких кислот приводить до затримки розмноження дріжджових клітин та гальмування швидкості біохімічних процесів.

Бурякова меляса має складний і непостійний хімічний склад, який залежить від ґрунтово-кліматичних умов вегетації, від добрив, які застосовуються, способів збирання, умов і тривалості зберігання цукрового буряку, технології цукроваріння та інших факторів [12]. Прогресивні технології цукроваріння, які впроваджено на цукрових заводах галузі, спрямовані, перш за все на максимальне вилучення цукру з сировини.

Таким чином, меляса є складною сировиною, у якій міститься цукор, що легко засвоюється дріжджами, але також меляса містить значну кількість органічних та неорганічних речовин, що спричиняють негативний вплив на життєдіяльність дріжджів в процесі переробки меляси в біоетанол.

Згідно з діючим в Україні ДСТУ 3696-1998, в мелясі регламентуються чотири показника: масова частка сухих речовин; масова частка сахарози, масова частка суми цукрів, що зброджуються; величина рН. Останнім часом, за даними виробників біоетанолу, при переробці меляси, яка має показники, що відповідають зазначеним нормам, дуже часто вихід спирту з тонни умовного крохмалю не досягає нормативного значення, що знижує ефективність виробництва біоетанолу.

За технологічним регламентом [13] встановлено показники дефектності цукробурякової меляси, до яких відносять такі, що визначають її непридатність для біосинтезу етилового спирту. Перелік 12 показників дефектності меляси та значень граничних меж наведено в табл. 1.

Таблиця 1 — Показники дефектності меляси цукробурякової, що визначають її непридатність для виробництва спирту.

Показники дефектності		Меляса бурякова	
		Норматив	Дефектна
1	Масова частка інвертного цукру, %	0,12–1,02	Більше 1,02
2	Масова частка азоту, %: загального	1,3–2,06	Менше 1,3
3	Масова частка азоту, %: формольного	0,35–0,45	Менше 0,15
4	Масова частка азоту фосфору (P ₂ O ₃), %	0,039–0,055	Менше 0,039
5	Масова частка сірчистого ангідриду (SO ₂), %	0,012–0,05	Більше 0,05
6	Масова частка летких кислот (в перерахунку на оцтову), %	0,36–1,0	Більше 1,0
7	Масова частка кальцію, %	0,17–0,82	Більше 0,82
8	Масова частка калію, %;	3,93–5,36	Менше 3,9
9	Масова частка натрію, %;	0,15–1,0	Більше 1,0
10	Колірність (за ФЕК), % до світлопропускання води	40–60	Менше 40
11	Масова частка колоїдних речовин (водорозчинних), %	2,4–2,8	Більше 2,8
12	Доброякісність, %	58,8–64,0	Менше 58,0

З огляду на те, що чинний нормативний документ (ДСТУ 3696) було розроблено більш як двадцять років тому, а за цей час значно змінилися умови вирощування цукрового буряку, а також впроваджено новітні технології цукроваріння, що, в свою чергу, призвело до змін складу меляси, визначення критеріїв оцінки показників меляси є актуальним завданням.

Таким чином, повне дослідження меляс з різних регіонів України за показниками дефектності, значення яких повинно бути в межах граничних норм, які не входять до переліку нормованих показників за ДСТУ 3696, набуває вагомого значення та має важливу практичну складову для ефективної переробки меляси в біоетанол.

Мета статті — є наукове обґрунтування та визначення критеріїв оцінки показників цукробурякової меляси з точки зору ефективного використання її у виробництві біоетанолу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктами досліджень були 10 зразків меляси з різних регіонів України (Вінницька, Тернопільська, Волинська, Київська і Полтавська області). Результати досліджень щодо визначення показників цих зразків меляси на відповідність нормам, зазначеним у ДСТУ 3696, наведено у табл. 2.

Таблиця 2 — Показники зразків меляси відповідно до ДСТУ 3696 (n = 3; P ≤ 0.05)

Найменування показника	Масова частка сухих речовин, %, не менше	Масова частка сахарози, %, не менше	Масова частка суми цукрів, що зброджуються, %, не менше	Величина рН, од.
Норма	75,0	43,0	44,0	6,5–8,5
Зразок 1	81,2	47,0	48,16	6,78
Зразок 2	81,0	48,6	49,78	6,32
Зразок 3	77,0	47,5	48,33	6,55
Зразок 4	78,2	48,9	48,71	7,32
Зразок 5	79,8	45,5	46,41	6,66
Зразок 6	75,0	45,6	46,17	6,57
Зразок 7	79,9	49,7	48,31	7,82
Зразок 8	75,5	47,5	46,94	6,35
Зразок 9	75,2	43,6	44,44	6,92
Зразок 10	82,2	52,95	50,53	8,50

Як показують дані табл.2, усі десять зразків меляси за показниками: масова частка сухих речовин; масова частка сахарози, масова частка суми цукрів, що зброджуються; величина рН не перевищують граничних меж та відповідають нормам діючого ДСТУ 3696.

З метою порівняння показників процесу спиртового зброджування зразків меляси та встановлення виходу етилового спирту з 1 т умовного крохмалю меляси проводили лабораторне зброджування (методом бродильної проби) десяти досліджуваних зразків. Біологічний метод визначання цукру або метод бродильної проби ґрунтується на лабораторному зброджуванні цукру у спирт в умовах, які моделюють процес одержування спирту у виробництві та виконується згідно з ДСТУ 5072:2008 «Сировина цукровмісна для спиртового виробництва. Біологічний метод визначення цукру».

Для одержання однакової концентрації сухих речовин у мелясному суслі (на рівні 22 мас.%), розраховували наважку меляси для кожного зразка окремо. Наважки меляси розводили стерильною водопровідною водою. У мелясне сусло додавали азотне та фосфорне живлення у вигляді діамонійфосфату із розрахунку 0,15 % до маси наважки меляси. Щоб створити оптимальні умови для спиртових дріжджів в процесі зброджування, мелясне сусло підкислювали сірчаною кислотою до величини рН на рівні 4,9–5,0 од. Використовували чисту культуру дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* У-5007 з музею ДНУ «УкрНДІспиртбіопрод». Дріжджі вирощували за схемою прийнятою у спиртовому виробництві. У кожену колбу вносили засівні дріжджі з розрахунку 5 г/дм³. Зброджування проводили у колбах Ерленмеєра об'ємом 500 см³. Кожну колбу закривали сірчанокислотним затвором та поміщали в термостат на бродіння за температури 30–32⁰С. Тривалість процесу бродіння становила 72 години. Показники визначали за методиками [14], що використовують у практиці спиртового виробництва: видиму густину СР — ареометричним методом та істинні СР — рефрактометричним методом, величину рН — потенціометричним методом, величину кислотності — електрометричним титруванням, кількість незбродженого цукру — колориметричним методом з резорцином. В бражних дистилатах, після перегонки бражки, визначали концентрацію етилового спирту ареометричним методом.

Показники дозрілих бражок, одержаних у результаті лабораторного зброджування зразків меляси, наведено у табл. 3.

Таблиця 3 — Показники дозрілих бражок ($n = 3$; $P \leq 0,05$)

Показники	Номер зразка меляси									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість CO ₂ , (г/200 см ³), що виділився за 72 год	13,1	13,14	13,12	13,2	13,10	13,2	13,14	13,13	13,06	13,39
pH середовища, од.	5,23	5,25	5,22	5,21	5,24	5,42	5,24	5,28	5,22	5,28
Кислотність, град.	0,51	0,45	0,51	0,52	0,51	0,50	0,53	0,54	0,52	0,51
Видима густина СР, %	7,4	6,8	6,9	6,8	7,4	6,5	7,3	6,8	6,7	6,6
Концентрація етило- вого спирту, % об.	8,02	8,25	8,18	8,25	8,05	8,22	8,20	8,13	8,01	8,14
Біомаса дріжджів, г/дм ³	10,0	12,1	13,2	11,4	10,2	10,4	10,8	10,5	9,8	13,4
Вміст незброджених цукрів, г/дм ³	0,29	0,27	0,22	0,21	0,29	0,28	0,24	0,24	0,26	0,25

Результати лабораторного зброджування (табл. 3) показали, що усі зразки меляси збродили повністю, що підтверджує значення незброджених цукрів на рівні 0,21–0,29 г/дм³, яке не перевищує нормативне значення 0,3 г/дм³. Показники дозрілих бражок усіх десяти зразків: рН середовища, кислотність, видима густина СР, знаходяться на однаковому рівні. Показник концентрації етилового спирту в бражках коливається від 8,01 до 8,25 % об., тобто різниця становить 2,9 %. Різницю у накопиченні спирту можна пояснити тим, що показники масова частка СР і масова частка суми цукрів, що зброджуються, у кожному зразку меляси дещо відрізняються. Потрібно зазначити, що показник кількості біомаси дріжджів, накопиченої у дозрілих бражках, не досягає нормативного значення (не менше 18 г/дм³) і знаходиться в межах від 9,8 до 13,4 г/дм³. Мінімальне і максимальне значення біомаси дріжджів відрізняється на 36,7 %. Саме показник біомаси дріжджів показує на те, що в мелясах містяться речовини, які негативно впливають на життєдіяльність дріжджових клітин в процесі спиртового зброджування.

На основі результатів лабораторного зброджування для кожного зразка меляси розраховали вихід етилового спирту з 1 т умовного крохмалю меляси. Порівняння виходу етилового спирту для 10 зразків меляси з нормативним виходом показано на рис 1. Дані порівняння (рис. 1) показують, що за умов лабораторного зброджування ні один з досліджених зразків меляси не досягнув нормативного виходу спирту з 1 т умовного крохмалю меляси. Вихід спирту становив на 1,05–2,76 дал менше від нормативного виходу (66,5 дал з 1 т крохмалю меляси).

Одержані результати підтверджують наші припущення щодо необхідності визначення критеріїв оцінки показників меляси, які суттєво впливають на дріжджі в процесі спиртового зброджування, а в подальшому на вихід спирту.

Проведено дослідження кожного зразку меляси за показниками дефектності, які наведено у табл. 4.

Одержані значення показників дефектності меляс, які не відповідають зазначеним у табл. 1 нормам позначено напівжирним шрифтом.

Як показують отримані дані кожен з 10 досліджених зразків меляси має від 3 до 9 показників, значення яких перевищують допустимі межі. Водночас, з усіх проаналізованих 12 показників, тільки три показника дефектності (масова частка летких кислот, масова частка колоїдних речовин та колірність), наявні в усіх 10 зразках меляси. Показник масової частки летких кислот у 1,2–2,3 рази перевищує гранично допустимі значення. Підвищений вміст колоїдних речовин в мелясі призводить до обмеження доступу поживних речовин у дріжджові клітини. Визначено, що масова частка колоїдних речовин в дослі-

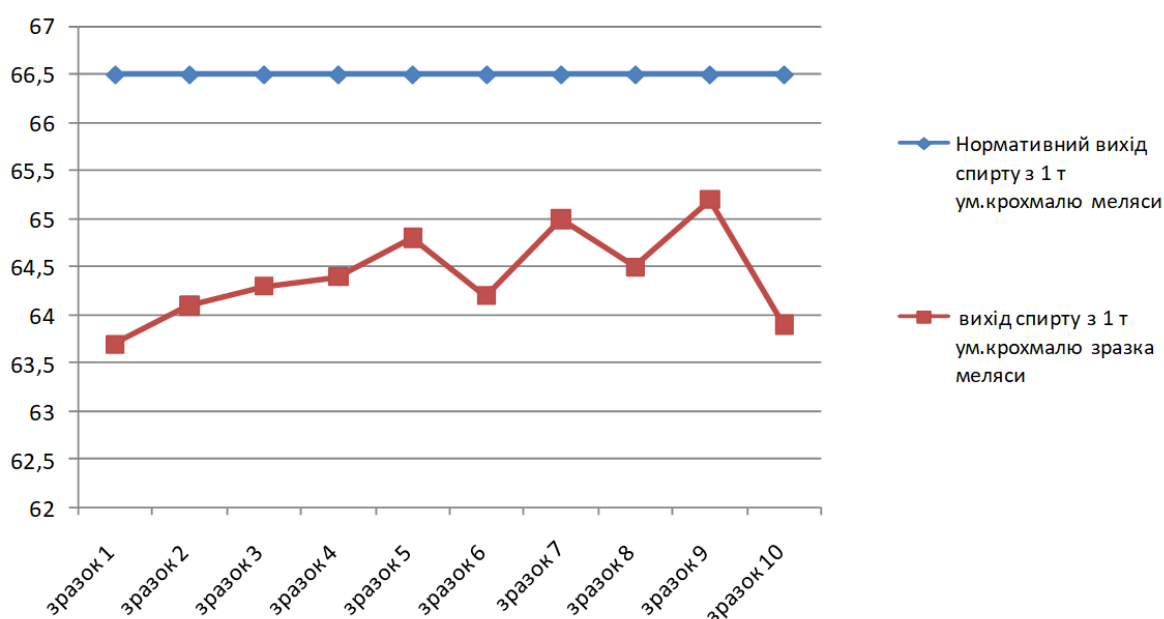


Рисунок 1 — Порівняння нормативного виходу етилового спирту з реальними виходами досліджуваних зразків меляси

Таблиця 4 — Результати досліджень зразків меляси за показниками дефектності

Найменування показників (масова частка)	Зразок меляси									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
інвертного цукру, %	0,57	0,59	1,2	0,13	0,45	0,95	0,26	1,02	1,45	0,05
азоту загального, %	1,81	3,30	1,62	2,33	2,38	1,29	1,70	1,2	1,26	2,4
аміного азоту, %	0,29	0,15	0,13	0,25	0,32	0,34	0,08	0,06	0,003	0,16
летких кислот (у перерахунку на оцтову), %	1,82	1,57	1,89	2,14	1,64	1,82	1,21	1,83	2,39	1,98
сірчистого ангідриду, %	0,014	0,02	0,026	0,021	0,023	0,013	0,019	0,03	0,01	0,02
фосфору, %	0,061	0,026	0,035	0,032	0,028	0,042	0,045	0,04	0,037	0,034
калію, %	3,9	3,75	2,4	3,5	3,6	3,7	4,15	2,55	2,7	2,3
натрію, %	0,65	0,34	0,72	0,55	0,68	0,55	0,73	0,71	0,45	0,41
кальцію, %	0,92	0,87	1,6	0,81	0,73	1,18	0,49	1,48	1,88	1,96
колоїдних речовин (водорозчинних), %	3,65	6,23	6,49	4,79	5,22	4,21	3,73	5,52	6,34	4,42
Колірність, % до світлопропускання води дистильованої	27,5	28	26	25	27	21,5	31	25,6	36	32
Доброякісність, %	59,31	61,46	62,77	62,29	58,16	61,56	60,46	62,17	59,86	61,47

джених зразках меляси на 30–131% вище встановленої межі. Показник колірності меляс на рівні 25–36 %, проти 40 % за нормою, вказує на підвищений вміст продуктів карамелізації та меланоїдинів, які утворюються в процесі цукроваріння. Підсумовуючи дані проведених досліджень вибрано три показники меляси: масова частка летких кислот, масова частка колоїдних речовин та колірність, як основні критерії оцінки меляси цукробурякової з точки зору ефективності перероблення її в біоетанол.

Висновки. Визначено, що зразки меляс з різних регіонів України за показниками відповідають вимогам діючого ДСТУ 3696-1998, але в процесі спиртового зброджування не дають нормативного виходу етилового спирту. Водночас, під час зброджування цих зразків меляс спостерігалася тенденція зниження бродильної активності дріжджів. Проведені дослідження зразків меляси за 12 показниками, які відносяться до показників дефектності показали, що три показника, а саме масова частка летких кислот; масова частка колоїдних речовин та колірність, в усіх десяти зразках меляси, значно перевищують граничні межі. Ці показники здійснюють найбільш негативний вплив на життєдіяльність дріжджових клітин.

Для підвищення ефективності виробництва біоетанолу з меляси запропоновано критерії оцінки придатності меляси за трьома показниками, значення яких має становити: масова частка летких кислот — не більше 1,0%; масова частка колоїдних речовин — не більше 2,8%; колірність — більше 40% по відношенню до світлопропускання води.

Список літератури

1. Zabed H., Sahu J. N., Suely A., Boyce A. N., & Faruq G. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. P. 475–501. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>.
2. Український НДІ цукрової промисловості (1998). ДСТУ 3696-98. Меляса бурякова. Технічні умови. Український НДІ цукрової промисловості. 1998. 54 с. http://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU1/dstu_3696-98.pdf.
3. Cardona C. A., Sanchez O. J. (2007). Fuel Ethanol Production: Process Design Trends and Integration Opportunities. *Bioresource Technology*. 2007. Vol. 98. № 12. P. 2415–2457. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.002>.
4. Долинский А. А., Ободович А. Н. Реалії сьогодення та перспективи виробництва біоетанолу як компонента сумішевих палив. *Вісник НАН України*. 2019. № 11. С. 29–37. <https://doi.org/10.15407/vsn2019.11.029>.
5. Шиян П. Л., Сосницький В. В., Олійнічук С. Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика : монографія . К. : Асканія. 2009. 424 с.
6. Palmonari A., Cavallini D., Sniffen C. J., Fernandes L., & Mammi L. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Sciences*. 2020. Vol. 103. № 7. pp. 6244–6249. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17644>.
7. Маринченко В. О., Домарецький В. А. & Шиян П. Л. Технологія спирту : підручник. Вінниця : Поділля-2000, 2003. 496 с.
8. Duraisam R., Salegn K., Berekete A. Production of beet sugar and bioethanol from sugar beet and its bagasse: a review. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2017. Vol. 43. № 4. P. 222–233. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V43P237>.
9. Razmovski R., & Vučurović V. Bioethanol production from sugar beet molasses and thick juice using *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on maize stem ground tissue. *Fuel*. 2012. Vol. 92. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.07.046>.
10. Коваль О.О. Розробка інноваційної технології біоетанолу з продуктів переробки цукрових буряків: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.05. Ін-т прод. Ресурсів НААН України. Київ, 2021. 130 с.
11. Dziugan P., Balcerek, M., Pielech-Przybylska K., & Patelski P. Evaluation of the fermentation of high gravity thick sugar beet juice worts for efficient bioethanol production. *Biotechnology for Biofuels*. 2013. Vol. 6, № 1, P. 2–11. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-158>.
12. Saric L., Filipčev B., Šimurina O. Sugar beet molasses: Properties and applications in osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Food and Feed Research*. 2016. Vol. 43. № 2. P. 135–144. <https://doi.org/10.5937/FFR1602135S>.
13. Типовий технологічний регламент одержання мелясно-спиртової бражки і пресованих хлібопекарських дріжджів. ТТР № 000 32744-3508-2005. К. : УкрНДІспиртбіопрод. 2005. 246 с.
14. Инструкция по химико-технологическому и микробиологическому контролю комплексной переработки мелассы на спирт и другие продукты. М. : Агропромиздат, 1986. 220 с.

References

1. Zabed, H., Sahu, J. N., Suely, A., Boyce, A. N. & Faruq, G. (2017). Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 475–501. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>.
2. Ukrainian Research Institute of Sugar Industry (1998). DSTU 3696-98. Melyasa buryakova. Tekhnichni umovy [Beet molasses. Technical conditions] Ukrainian Research Institute of Sugar Industry, 54 p.

3. Cardona, C. A., Sanchez, O. J. (2007). Fuel Ethanol Production: Process Design Trends and Integration Opportunities. *Bioresource Technology*, vol. 98, no. 12, pp. 2415–2457. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.002>.
4. Dolinsky, A. A., Obodovych, A. N. (2019). Realiyi sohodennya ta perspektyvy vyrobnytstva bioetanolu yak komponenta sumishevykh palyv. [The realities of the present and the prospects of the production of bioethanol as a component of mixed fuels]. *Visnyk NAAN Ukrayiny [Bulletin of NAAS of Ukraine]*, no. 11, pp. 29–37. <https://doi.org/10.15407/visn2019.11.029>.
5. Shyian, P. L., Sosnytskyi, V. V., Oliinychuk, S. T. (2009). Inovatsiini tekhnolohii spyrtovoi promyslovosti. Teoriia i praktyka [Innovative technologies of the alcohol industry. Theory and Practice]. Kyiv, Askaniia Publ., 424 p.
6. Palmonari, A, Cavallini, D, Sniffen, C. J., Fernandes L. & Mammi L. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Sciences*, vol. 103, no. 7, pp. 6244–6249. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17644>.
7. Marinchenko, V. O. (ed.) Domaretsky, V. A. & Shyian, P. L. (2003). *Tekhnolohiya spyrtu [Technology of alcohol]*. Vinnytsya, Podillya-2000 Publ., 496 p.
8. Duraisam, R., Salegn, K., Berekete, A. K. (2017). Production of beet sugar and bioethanol from sugar beet and it bagasse. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 43, no. 4, pp. 222–233. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V43P237>.
9. Razmovski, R. & Vučurović, V. (2012). Bioethanol production from sugar beet molasses and thick juice using *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on maize stem ground tissue. *Fuel*, vol. 92, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.07.046>.
10. Koval, O. O. (2021). Rozrobka innovatsiynoyi tekhnolohiyi bioetanolu z produktiv pererobky tsukrovyykh buryakiv [The development of innovative technology of bioethanol from sugar beet processing products. Abstract of Grand PhD in Engineering sciences thesis]. Kyiv, 130 p.
11. Dziugan, P., Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K. & Patelski, P. (2013). Evaluation of the fermentation of high gravity thick sugar beet juice worts for efficient bioethanol production. *Biotechnology for Biofuels*, vol. 6, no. 1, pp. 2–11. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-158>.
12. Saric, L., Filipčev, B., Šimurina, O. (2016). Sugar beet molasses: Properties and applications in osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Food and Feed Research*, vol. 43, no. 2, pp.135–144. <https://doi.org/10.5937/FFR1602135S>.
13. UkrNDIspirtbioprod (2005). *Typovyy tekhnolohichnyy rehlament oderzhannyya melyasno-spyrtovoyi brazhky i presovanykh khlibopekarskykh drizhdzhiv* [Typical technological regulations for obtaining molasses-alcohol mash and pressed baker's yeast.]. TTR № 000 32744-3508-2005. Kiev, UkrNDIspirtbioprod, 246 p.
14. *Instruktsiya po khimiko-tekhnologicheskomu i mikrobiologicheskomu kontrolyu kompleksnoy pererobki melassy na spirt i drugiye produkty* (1986). [Instructions for chemical-technological and microbiological control of the complex processing of molasses into alcohol and other products]. Moscow, Agropromizdat, 220 p.

Objective. Establish criteria for evaluating sugar beet molasses according to indicators that are not regulated in the current DSTU 3696-1998, in terms of effective use of molasses for bioethanol production.

Methods. During the research were used: standard methods of analysis of molasses indicators in accordance with DSTU 3696. The method of laboratory fermentation «fermentation test» was performed in accordance with DSTU 5072:2008. Indicators of the defect of molasses were determined by generally accepted methods in the alcohol industry: mass fraction of total nitrogen — by the Kjeldahl method; mass fraction of amine nitrogen — by the method of formal titration; mass fraction of phosphorus — by the colorimetric method of Briggs; mass fraction of volatile acids, mass fraction of sulfur dioxide according to the methods developed by DNU “UkrNDIspirtbioprod”; mass fraction of potassium, sodium and calcium — using a flame photometer CL 378; mass fraction of colloidal substances — by the method of Harin and Dumansky. The color index of molasses was determined colorimetrically using a spectrophotometer KFK-3-01, using distilled water as a control solution. The molasses index “high quality” was calculated as the ratio of the amount of fermented sugars to the mass fraction of dry matter.

Results. Ten samples of sugar beet molasses from different regions of Ukraine were studied according to the requirements of the current standard. It is determined that all ten samples of molasses according to the current document, meet the standards. Laboratory fermentation of molasses showed that the yield of alcohol in all ten samples was lower than the standard yield by 1–2 decalitres per 1 ton of starch. A full analysis of molasses samples was performed on 12 indicators, which according to the regulations are defect indicators. Three indicators were identified, which in all ten samples of molasses significantly exceed the limit: mass fraction of volatile acids; mass fraction of colloidal substances and color. These indicators have the most negative effect on the fermentation activity of yeast cells. To increase the efficiency of bioethanol production from molasses, the criteria for assessing the suitability of molasses according to the indicators, the value of which should be: mass fraction of volatile acids — not more than 1.0%; mass fraction of colloidal substances — not more than 2.8%; color — more than 40% in relation to the light transmission of water.

Key words: sugar beet molasses, fermentation, defect indicators, "good quality" indicator, volatile acids, colloidal substances, color, alcohol yield, bioethanol.

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-36-44

УДК 001.891:(664.68.016:678.746.4-035.2)(045)

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

Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент

Пусікова О. А., асистент

Мороз В. О., здобувач ОС бакалавра

Гусак Є. Р., здобувач ОС бакалавра

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ, ЩО ЗБАГАЧЕНІ РЕЧОВИНАМИ ПОЛІФЕНОЛЬНОЇ ПРИРОДИ

UDK 001.891:(664.68.016:678.746.4-035.2)(045)

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

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

Pusikova O. A., Assistant Professor

Moroz V. O., a graduate of a bachelor degree

Husak Y. R., student

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

RESEARCH OF QUALITY INDICATORS OF FLOUR CONFECTIONERY ENRICHED WITH SUBSTANCES OF POLYPHENOL NATURE

Мета. Визначити деякі кількісні показники якості борошняних кондитерських виробів, що збагачені речовинами поліфенольної природи, з використанням принципів кваліметрії.

Методи. Для визначення кількісних показників якості за різними групами властивостей використовували основні принципи кваліметрії, які полягають в наступному [1]: окремі властивості продукції складають ієрархічну структуру її якості; властивості i -го рівня визначаються відповідними властивостями $(i + 1)$ -го рівня ($i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$); ці властивості

Надійшла до редакції 22.10.2021 р.

© Ю. А. Горайнова, О. О. Сімакова, О. А. Пусікова, В. О. Мороз, Є. Р. Гусак, 2021

шляхом вимірювання або обчислення одержують числові характеристики — абсолютні показники (P_i); вимірювання окремих властивостей або самої якості в цілому в остаточному підсумку повинно завершуватися обчисленням відносного показника (оцінки) якості $K_i = f(P_i, P_{i\text{баз}})$, де $P_{i\text{баз}}$ — базовий показник, прийнятий за вихідний при порівняльній оцінці якості; кожна властивість якості визначається двома числовими параметрами — відносним показником K_i і вагомністю m_i ; сума вагомостей властивостей одного рівня — величина стала, найчастіше 1; коефіцієнт вагомості показника є кількісною характеристикою його значимості серед інших при комплексній оцінці якості. Комплексний показник якості визначається як деяка задана функція одиничних оцінок та їхніх вагомостей: $K_o = f(m_i, K_i)$.

Результати. Експериментально доведено, що кількісна оцінка якості пісочного печива за новою технологією з добавкою речовин фенольної природи (порошок з сухих ягід чорноплідної горобини) за структурними властивостями незначно знижується на 1,3 %, оскільки з сировини вилучається компонент, що забезпечує підйом тіста та закріплює структуру при випіканні. Узагальнений показник безпеки зразків пісочного печива має значення: для печива за традиційною рецептурою — 0,512; для печива з добавкою порошку з сухих ягід чорноплідної горобини (5 % від маси борошна) — 0,673. Рівень якості виробів з пісочного тіста з чорноплідною горобиною щодо органолептичних показників декілька нижче за контрольний зразок, але значення комплексної оцінки розробленого зразку більше ніж 0,80 (дуже добра якість згідно з графіком функції бажаності Харрінгтона). Рівень якості розроблених виробів підвищується в 7,8 рази за вмістом фізіологічно корисних речовин в порівнянні з контрольним зразком.

Ключові слова: чорноплідна горобина, структурні, мікробіологічні, органолептичні властивості, фізіологічно корисні речовини, якість, пісочне печиво, кваліметрія.

Постановка проблеми. Найбільш поширену групу серед кондитерських виробів складають саме борошняні, що включають кілька сотень найменувань, та користуються найбільшою популярністю серед різних верств населення. Більшість таких виробів мають не збалансований мінеральний, вітамінний склад, містять велику кількість жирів, вуглеводів. Виникає необхідність удосконалення та розробки нових видів борошняних кондитерських виробів, які б були багаті рослинними волокнами, біологічно активними речовинами, що підвищують імунітет людини і взагалі відіграють важливу фізіологічну роль. Використання добавок рослинного походження для поліпшення якості харчової продукції — актуальна тема в нашій країні та за кордоном. В останні роки все більше привертає до себе увагу чорноплідна горобина — рослина, яка широко розповсюджена по всій території України, а її плоди багаті каротиноїдами, вітамінами, макро- та мікроелементами, забезпечують зміцнення стінок кровоносних судин, нормалізують роботу шлунка, надають спазмолітичну дію, стимулюють вироблення жовчі. Тому вважаємо, що використання цієї рослини як біологічно активної добавки в борошняних кондитерських виробих з пісочного тіста є перспективним і актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останніми роками в нашій країні і за кордоном велику увагу приділяють якості харчової продукції [2]. Проблеми якості продуктів харчування вирішують І. В. Сирохман, Т. М. Лозова, О. В. Сидоренко, О. В. Кузьмін, Л. В. Дітріх, В. Г. Топольник та ін.

Так, група вчених кафедри товарознавства, технологій і управління якістю харчових продуктів Львівського торговельно-економічного університету на чолі з д-ром техн. наук, професором І. В. Сирохманом досліджують якісні характеристики і безпечність різноманітних харчових продуктів, серед яких сирокоччені ковбаси, плавлені сири, хлібобулочні вироби тощо [3, 4].

Ще один представник наукової школи ЛТЕУ Т. М. Лозова, д-р техн. наук, проф. займається питаннями управління якістю та безпечністю борошняних кондитерських виробів — кексів, вафель з фітодобавками, цукрового печива [5, 6].

Показники якості готової продукції можна визначати різними методами, серед яких і кваліметрія.

Так, О. В. Кузьмін, д-р техн. наук з НУХТ розробив методику комплексної кількісної оцінки якості води для лікєро-горіччаного виробництва згідно з принципами кваліметрії [7], ним також розглянуто методику оцінки якості раціонів харчування у закладах готельно-ресторанного господарства та визначено комплексні показники якості для групи енергетичних речовин, мінеральних речовин та вітамінів [8]. Разом з канд. техн. наук Л. В. Дітріх ним проведено оцінку якості інноваційної гарячої солодкої страви суфле з позиції фізіологічних потреб організму дитини дошкільного віку методами кваліметрії [9].

Кафедрою технологій в ресторанному господарстві, готельно-ресторанної справи та підприємництва ДонНУЕТ ведуться дослідження стосовно покращення якості борошняних кондитерських виробів за рахунок добавок амаранту багряного, шовковиці, чорноплідної горобини [10–14]. Доведено, що ці добавки позитивно впливають на хлібопекарські властивості пшеничного борошна, на якість жиру в цих продуктах, покращують харчову цінність, мінеральний склад готових виробів.

Отже, проблема покращення та визначення якості харчових продуктів залишається актуальною та вирішується в багатьох напрямках, серед яких особливо перспективним виглядає використання принципів кваліметрії для розрахунків комплексних оцінок якості.

Мета статті — визначення показників якості борошняних кондитерських виробів з пісочного тіста, що збагачені речовинами поліфенольної природи, за структурно-механічними, органолептичними властивостями, безпеки, вмісту фізіологічно корисних речовин за принципами кваліметрії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Якість харчового продукту — це сукупність властивостей, що визначає його здатність забезпечувати потреби організму людини в енергії, поживних та смакоароматичних речовинах з урахуванням оптимальних фізіологічних норм, які базуються на концепції збалансованого харчування. Нами були досліджені основні групи властивостей розроблених виробів з пісочного тіста з добавками чорноплідної горобини, яка містить потужний комплекс поліфенольних речовин — біофлавоноїдів, з використанням принципів кваліметрії.

Ієрархічна структура властивостей, що характеризують якість розробленої нами продукції, складається з трьох рівнів. На першому рівні якість представлена чотирма групами властивостей: структурно-механічні, мікробіологічні (безпеки), органолептичні, харчова цінність (енергетична за збалансованістю основних харчових речовин і біологічна за вмістом фізіологічно корисних речовин).

В групу структурно-механічних властивостей входять здатність до намокання (P_1), %; питомий об'єм (P_2), $\text{дм}^3/\text{кг}$; пористість (P_3), %, які характеризують смак печива, його крихкість. У відповідності з методами кваліметрії узагальнену оцінку структурних властивостей розраховували за формулою 1:

$$k = \sum_{i=1}^3 m_i \cdot k_i, \quad (1)$$

де m_i , k_i — коефіцієнт вагомості та оцінка показника властивості, що характеризує якість об'єкта.

Якість виробів поліпшується, якщо значення вказаних показників підвищується. Виходячи з цього, для кількісної оцінки цих показників використовували залежність 2:

$$k_i = \frac{P_i}{P_{\text{баз.}}}, \quad (2)$$

де P_i — значення показника для зразка, що оцінюється; $P_{\text{баз.}}$ — базове значення цього показника для контрольного зразка, що виготовлений за традиційним складом рецептурних компонентів.

Для визначення коефіцієнтів вагомості показників використовували метод, в якому був обчислений розмах варіювання значень ($P_{\text{max}} - P_{\text{min}}$). Коефіцієнти вагомості визначали за формулою 3:

$$n_i = \frac{\frac{P_i^{баз}}{P_{i\max} - P_{i\min}}}{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{P_i^{баз}}{P_{i\max} - P_{i\min}} \right)}. \quad (3)$$

Коефіцієнти вагомості розраховані нами і мають відповідні значення: здатність до намокання, $m_1 = 0,18$; питомий об'єм, $m_2 = 0,29$; пористість, $m_3 = 0,53$. Диференціальна та комплексна оцінка структурних властивостей досліджених зразків готових виробів за зміненою рецептурою наведена в табл. 1.

Встановлено, що заміна 5% пшеничного борошна порошком з сухих плодів чорноплідної горобини знижує комплекс структурно-механічних властивостей на 1,3%, оскільки з сировини вилучається компонент, що забезпечує підйом тіста та закріплює структуру при випіканні.

Таблиця 1 — Комплексна оцінка структурних властивостей досліджених зразків пісочного печива

№	Найменування зразка печива	Одиничні оцінки			Комплексна оцінка
		1 $m=0,18$	2 $m=0,29$	3 $m=0,53$	
1	За традиційною рецептурою	1,00	1,00	1,00	1,00
2	З добавкою порошку з сухих плодів чорноплідної горобини в кількості 5% від маси пшеничного борошна	0,980	0,988	0,988	0,987

Наступним кроком було встановлення показника якості безпеки розроблених виробів з добавками чорноплідної горобини. За нормативною документацією для контролю безпеки харчової продукції (борошняних кондитерських виробів — пісочного печива) передбачається п'ять показників. Вимоги до двох показників мають кількісні значення, вимоги до трьох — змістовне, в альтернативній формі.

Тому математична модель узагальненого показника безпеки пісочного печива повинна мати функцію вето, яка складається з оцінки альтернативних показників (з оцінок показників, що мають альтернативний характер). Узагальнену оцінку мікробіологічних показників якості зразків пісочного печива, виготовлених за розробленою технологією, визначали за формулою 4:

$$K_{мб} = \prod_{j=1}^t X_{a_j} \prod_{i=1}^n (K_i)^{1/n},$$

а саме для наших дослідів

$$K_{мб} = K_1 K_2 K_4 \sqrt{K_3 K_5}, \quad (4)$$

де $K_1 K_2 K_4$ — функція вето, складена з оцінки альтернативних показників. Оцінки K_j приймають значення 1 (одиниця), якщо виконуються вимоги нормативних документів і значення 0 (нуль), якщо вимоги нормативних документів не виконуються; $K_3 K_5$ — оцінки кількісних показників.

$\prod_{j=1}^t X_{a_j}$ — функція вето, складена з оцінки альтернативних показників K_a .

Оцінки K_a приймають значення 1 (одиниця), якщо виконуються вимоги нормативних документів і значення 0 (нуль), якщо вимоги нормативних не виконуються; t — кількість альтернативних показників;

$\prod_{i=1}^n (K_i)^{1/n}$ — середня геометрична величина, яка узагальнює значення декількох

показників. Ця величина має більшу в порівнянні з середньою арифметичною величиною чутливість до малих значень оцінок, що узагальнюються; K_i — оцінки кількісних показників; n — число кількісних показників.

Доцільність використання середньої геометричної величини обумовлено тим, що розвиток (збільшення кількості) мікроорганізмів має логарифмічний характер, після фази повільного накопичення мікроорганізмів настає фаза швидкого зростання їх кількості, що призводить до значного зниження оцінок за мікробіологічними показниками (на початку цього періоду інші показники якості, як правило, залишаються без помітних змін).

Для оцінки мікробіологічних показників використовували залежність (5)

$$K_i = 1,37 - \frac{\lg P_i}{\lg P_n}, \quad (5)$$

де P_i — значення показника зразка, що оцінюється; P_n — нормоване значення показника.

При значенні $P_i = P_n$ оцінка, визначена за даною залежністю, має значення 0,37, що за теоретичними принципами кваліметрії відповідає оцінці «задовільно», тобто вироби задовільняють вимогам нормативної документації з однобічним обмеженням значень показника.

У відповідності з даними по мікробіологічним характеристикам розробленого печива узагальнений показник безпеки цих зразків має значення: для печива за традиційною рецептурою — 0,512; для печива «Рожевий захід» — 0,673.

Оцінку органолептичних показників розраховували за формулою 6:

$$K = \exp^{-\exp|y|}, \quad (6)$$

де K — оцінка; y — значення, що кодується.

Загальна і комплексна органолептична оцінка виробів з пісочного тіста з добавками чорноплідної горобини наведена в таблиці 2:

Таблиця 2 — Кількісна оцінка органолептичних показників

№	Найменування виробів	Загальна органолептична оцінка, бал	Комплексна оцінка
1	За традиційною рецептурою	19,10	0,96
2	З добавкою порошку з сухих плодів чорноплідної горобини в кількості 5% від маси пшеничного борошна	18,48	0,93

Як видно з даних цієї таблиці, рівень якості виробів з пісочного тіста з добавками чорноплідної горобини щодо органолептичних показників декілька нижче за контрольний зразок, але значення комплексної оцінки розробленого зразку більше ніж 0,80 (дуже добра якість згідно з графіком функції бажаності Харрінгтона).

Уведення в рецептуру пісочного тіста порошку з сухих плодів чорноплідної горобини призводить до збагачення харчового продукту фізіологічно корисними речовинами, що підвищує його харчову цінність. У табл. 3 наведені дані щодо вмісту каротиноїдів, фенольних речовин, клітковини у досліджених виробах.

Таблиця 3 — Вміст фізіологічно корисних речовин в зразках пісочного печива

№	Найменування виробів	Вміст речовин		
		Каротиноїди, мг/100г	Фенольні речовини, %	Клітковина, %
1	Контрольний зразок	0,08	—	—
2	З добавкою порошку з сухих плодів чорноплідної горобини у кількості 5 % від маси пшеничного борошна	0,27	0,21	0,42

Для комплексної кількісної оцінки якості виробів за вмістом фізіологічно корисних речовин необхідно абсолютні значення показників харчової цінності перевести у віднос-

ні. Для цього оцінки одиничних показників якості ми пропонуємо розрахувати відповідно середнього значення встановленого в дослідженні діапазоні:

$$P_i^{\text{баз}} = \frac{\sum P_i}{n} \quad (7)$$

Базове значення для каротиноїдів — 0,170; фенольних речовин — 0,135; клітковини — 0,224. Для визначення коефіцієнтів вагомості показників застосовували розрахунковий метод, суть якого полягає в зворотній залежності значення коефіцієнта вагомості від базового значення показника, а саме: коефіцієнт вагомості тим більший, чим менше значення базового показника:

$$m_i = \frac{\frac{1}{P_i^{\text{баз}}}}{\sum \left(\frac{1}{P_i^{\text{баз}}} \right)} = \frac{\frac{\sum_i \bar{P}_i^{\text{баз}}}{P_i^{\text{баз}}}}{\sum \left(\frac{\sum_i P_i^{\text{баз}}}{P_i^{\text{баз}}} \right)} \quad (8)$$

Сума базових значень $\sum P_i^{\text{баз}} = 0,170 + 0,135 + 0,224 = 0,529$.

$$\sum \left(\frac{\sum P_i^{\text{баз}}}{P_i^{\text{баз}}} \right) = 0,529/0,170 + 0,529/0,135 + 0,529/0,224 = 9,393.$$

Коефіцієнти вагомості: каротиноїдів $m_{\text{кар}} = 0,529/0,170/9,393 = 0,331$ (прийняли $m_{\text{кар}} = 0,33$); фенольних речовин $m_{\text{ф.р.}} = 3,919/9,393 = 0,417$ (прийняли $m_{\text{ф.р.}} = 0,42$); клітковини $m_{\text{кл.}} = 2,362/9,393 = 0,252$ (прийняли $m_{\text{кл.}} = 0,25$).

В таблиці 4 наведені відносні значення (оцінки) одиничних показників і комплексний показник якості виробів за вмістом фізіологічно корисних речовин, розрахований за формулою 1, а також значення комплексного показника у порівнянні з контрольним зразком, який показує підвищення харчової цінності виробів за розробленою технологією.

Таблиця 4 — Кількісна оцінка якості виробів із пісочного тіста за вмістом фізіологічно корисних речовин

№	Найменування зразка печива	Одиничні оцінки			Комплексна оцінка	Комплексна порівняльна оцінка
		Каротиноїдів	Фенольних речовин	Клітковини		
1	Контрольний зразок	0,471	0	0,223	0,211	1,0
2	З добавкою порошку з сухих плодів чорноплідної горобини в кількості 5% від маси пшеничного борошна	1,588	1,556	1,875	1,646	7,801

Як видно, рівень якості виробів, приготовлених з заміною частки рецептурних компонентів порошком з сухих плодів чорноплідної горобини підвищується в 7,8 рази за вмістом фізіологічно корисних речовин.

Висновки. Методом кваліметрії встановили кількісні показники якості розроблених виробів з добавкою чорноплідної горобини за різними групами властивостей (структурно-механічні, безпеки, органолептичні та за вмістом фізіологічно корисних речовин). Доведено доцільність використання добавки порошку з сухих ягід чорноплідної горобини для підвищення харчової цінності розроблених виробів.

Список літератури

1. Топольник В. Г. Управління якістю продукції та послуг в готельно-ресторанному господарстві : навч. посіб. Львів : Магнолія 2006, 2012. 328 с.
2. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів : Закон України від 22.07.2014 р. № 771. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/771/97-%D0%B2%D1%80#Text>.
3. 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.
4. Сирохман І. В., Лозова Т. М. Наукові спрямування у поліпшенні споживних властивостей та якості борошняних кондитерських виробів. *Наук. праці НУХТ*. 2008. № 25. С. 40–43.
5. Lozova T., Syrohman I., Reshetylo L. Modern approaches improve consumer properties and quality of confectionery products with consideration of their security. *Sciences of Europe (Praha, Czech Republic). Technical sciences*. 2020. № 47. Vol. 1. pp. 50–56.
6. Лозова Т. М. Наукові основи формування споживних властивостей і зберігання якості борошняних кондитерських виробів: монографія / ред. І. В. Сирохман. Львів : ЛКУ, 2009. 456 с.
7. Кузьмін О. В. Розробка методу кількісної оцінки якості води для лікєро-горілчаного виробництва. *Вісник ДонДУЕТ. Серія: Технічні науки*. 2004. № 1 (21). С. 71–75.
8. Кузьмін О. В., Вовк Г. М., Гребонос К. І., Радькевич С. М., Роман Т. О. Дослідження якості раціонів харчування. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2018. № 12. С. 47–56.
9. Михайленко В. М., Кузьмін О. В., Дітріх І. В. Комплексна оцінка якості гарячої солодкої страви суфле. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2018. Т. 1, № 4 (44). С. 54–59.
10. Simakova O., Korenets Yu., Yudina T., Nazarenko I., Goriainova Iu. (2018). Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 2, issue 11 (92), pp. 57–64. doi : 10.15587/1729–4061.2018.127173.
11. Горяйнова 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*. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2020. Вип. 2 (41). С. 12–18.
12. Сімакова О. О., Никифоров Р. П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна з заданими властивостями : монографія. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2018. 146 с.
13. Korenets Yu., Goriainova Yu., Nykyforov R., Nazarenko I., Simakova O. (2017) Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. *Eastern European Journal of Enterprise technologies. Technology and equipment of food production*. Vol. 2, no. 10 (86). pp. 25–31. doi : 10.15587/1729-4061.2017.98409.
14. Горяйнова Ю.А. Розробка технології борошняних виробів з добавками чорноплідної горобини. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2016. Вип. 2. С. 22–30.

References

1. Topolnyk, V.G. (2012). *Upravlinnia yakistiu produktsii ta posluh v hotelno-restorannomu hospodarstvi* [Quality management of products and services in the hotel and restaurant industry]. Lviv, Magnolia-2006 Publ., 328 p.
2. Verkhovna Rada of Ukraine (2014). Pro osnovni pryntsyepy ta vymohy do bezpechnosti ta yakosti kharchovykh produktiv [About the basic principles and requirements for food safety and quality]: Law of Ukraine from 22.07.2014. no. 771. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/771/97-%D0%B2%D1%80#Text>.
3. Lozova, T. M., Syrokhman, I. V. (2017). *Naukove obgruntuvannia polipshennia spozhyvnykh vlastyvostei boroshnianskykh 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.

4. Syrokhman, I. V., Lozova, T. M. (2008). Naukovi spryamuvannia u polipshenni spozhyvnykh vlastyvostei ta yakosti boroshnianskykh kondyterskykh vyrobiv [Scientific directions in improving the consumer properties and quality of flour confectionery] *Nauk. pratsi NUKhT* [Scientific works of NUHT], no. 25, pp. 40–43.

5. Lozova, T., Syrokhman, I., Reshetylo, L. (2020). Modern approaches improve consumer properties and quality of confectionery products with consideration of their security. *Sciences of Europe (Praha, Czech Republic). Technical sciences*, no. 47 (1), pp. 50–56.

6. Lozova, T. M. (2009). *Naukovi osnovy formuvannia spozhyvnykh vlastyvostei i zberihannia yakosti boroshnianskykh kondyterskykh vyrobiv* [Scientific bases of formation of consumer properties and preservation of quality of flour confectionery]. Lviv, LKU Publ., 456.

7. Kuzmin, O. V. (2004). *Rozrobka metodu kilkisnoi otsinky yakosti vody dlia likero-horilchanoho vyrobnytstva* [Development of a method for quantitative assessment of water quality for alcoholic beverage production]. *Visnyk DonDUET. Seriya: Tekhnichni nauky* [Bulletin of DonDUET. Series: Technical Sciences], no. 1 (21), pp. 71–75.

8. Kuzmin, O. V., Vovk, G. M., Grebonos, K. I., Radkevich, S. M., Roman, T. O. (2018). *Doslidzhennia yakosti ratsioniv kharchuvannia* [Research on the quality of diets]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Internauka»* [International scientific journal “Internauka”], no. 12, pp. 47–56.

9. Mykhailenko, V. M., Kuzmin, O. V., Ditrikh, I. V. (2018). *Kompleksna otsinka yakosti hariachoi solodkoi stravy sufle* [Comprehensive assessment of the quality of hot sweet souffle dishes]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Internauka»* [International scientific journal “Internauka”], vol. 1, no. 4 (44), pp. 54–59.

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

11. Goryaynova, Yu. A., Simakova, O. O., Kuchma, A. Yu., Moroz, V. O. (2020). *Tehnologiya virobiv iz pshenichnogo boroshna likovalno-profilaktichnogo pryznachennya iz vikoristanniam shovkovitsi* [Technology of products from wheat flour of medical and preventive appointment with use of mulberry]. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovikh virobnitstv* [Equipment and technology of food production], issue 2 (41), pp. 12–18.

12. 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.

13. Korenets, Y., Goriainova, I., Nykyforov, R., Nazarenko, I., Simakova, O. (2017). Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, issue 10 (86), pp. 25–31. doi : 10.15587/1729–4061.2017.98409.

14. Goryaynova, Yu. A. (2016). *Rozrobka tehnologiyi boroshnyanih virobiv z dobavkami chornoplidnoyi gorobini* [Development of technology of flour products with chokeberry additives]. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovikh virobnitstv* [Equipment and technology of food production], issue 2, pp. 22–30.

Objective. To determine some quantitative indicators of quality of flour confectionery products enriched with substances of polyphenolic nature, using the principles of qualimetry.

Methods. To determine the quantitative indicators of quality for different groups of properties used the basic principles of qualimetry, which are as follows [1]: individual properties of the product constitute a hierarchical structure of its quality; the properties of the i -th level are determined by the corresponding properties of the $(i + 1)$ -th level ($i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$); these properties by measuring or calculating obtain numerical characteristics — absolute values (P_i); the measurement of individual properties or the quality as a whole should ultimately end with the calculation of the relative quality

indicator (assessment) $K_i = f(P_i, P_i^{baz})$, where P_i^{baz} is the basic indicator taken as the starting point in the comparative quality assessment; each quality property is determined by two numerical parameters — the relative value of K_i and the weight of m_i ; the sum of the weights of the properties of one level — the value of a constant, often 1; the weighting factor of the indicator is a quantitative characteristic of its significance among others in a comprehensive assessment of quality. The complex quality indicator is defined as some given function of unit estimates and their weights: $K_o = f(m_i, K_i)$.

Results. It has been experimentally proved that the quantitative assessment of the quality of shortbread cookies using a new technology with the addition of phenolic substances (powder from dried chokeberry berries) by structural properties is slightly reduced by 1.3%, because the raw material is removed component structure during baking. The generalized safety indicator of samples of shortbread cookies is important: for cookies according to the traditional recipe — 0,512; for cookies with the addition of powder from dried berries of chokeberry (5% by weight of flour) — 0,673. The quality level of shortcrust products with chokeberry relative to organoleptic characteristics is slightly lower than the control sample, but the value of the comprehensive assessment of the developed sample is more than 0,80 (very good quality according to the schedule of the Harrington desirability function). The level of quality of the developed products increases 7,8 times on the content of physiologically useful substances in comparison with the control sample.

Key words: chokeberry, structural, microbiological, organoleptic properties, physiologically useful substances, quality, shortbread cookies, qualimetry.

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-44-52

УДК 665:664.3

Покотило О. С., д-р біол. наук, професор

Кухтин М. Д., д-р вет. наук, професор

Криськова Л. П., асистент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, e-mail: lora.deret@gmail.com.

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МАЙОНЕЗУ З РІЗНИМ СПІВВІДНОШЕННЯМ ОЛІЙ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

UDC 665:664.3

*Pokotylo O.S., Grand PhD of Biological Science,
Professor*

*Kukhtyn M.D., Grand PhD of Veterinary Science,
Professor*

Kryskova L.P., Assistant

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: lora.deret@gmail.com.

RESEARCH OF MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF MAYONNAISE WITH DIFFERENT RATIO OF OILS DURING STORAGE

Мета — дослідити зміни мікробіологічних показників зразків майонезу, виготовлених з різним співвідношенням рослинних олій під час холодильного зберігання.

Методи. Визначення кількості бактерій групи кишкових паличок у зразках майонезу проводили в середовищі Кеслер, інкубацію посівів проводили за температури 37 ± 1 °C протягом 24 год. Дріжджі і плісеневі гриби визначали на середовищі Сабуро — інкубація за температури 25 ± 1 °C протягом 3–5 діб. Ідентифікацію дріжджів і плісневих грибів проводили за куль-

Надійшла до редакції 05.10.2021 р. © О. С. Покотило, М. Д. Кухтин, Л. П. Криськова, 2021

туральними і морфологічними властивостями (мікроскопія мазка). Бактерії роду *Salmonella* визначали згідно ДСТУ IDF 93A:2003.

Результати. Розроблено дослідні зразки майонезу із різним співвідношенням (нетрадиційних) рослинних олій для покращення його жирнокислотного складу. Встановлено, що за мікробіологічними показниками виготовлені контрольний і дослідні зразки майонезу відповідали вимогам стандарту та більше, як в тисячу разів мали меншу допустимої кількості мікроорганізмів. Виявлено, що зразки майонезу з різним співвідношенням олій можуть зберігатися в умовах холодильника за температури $+8 \pm 0,5$ °C упродовж 45–50 діб без порушення вимог мікробіологічних показників. При цьому встановлено, що під час зберігання дослідних зразків майонезу псування відбувається, в основному, за рахунок розмноження дріжджів. Для підвищення стійкості майонезу до мікробіологічного псування необхідно у рецептурний склад вводити консервант (сорбат калію), який дозволяє подовжити термін зберігання в умовах холодильника більше, як у два рази.

Отже, часткова заміна соняшникової олії у майонезі на лляну і конопляну не впливає на динаміку мікрофлори під час його зберігання. Зберігати майонез з різним співвідношенням рослинних олій в умовах холодильника без перевищення мікробіологічних нормативів можливо протягом 45–50 діб.

Ключові слова: майонез, мікробіологічні показники, бактерії групи кишкової палички, дріжджі, плісневі гриби, сорбат калію.

Постановка проблеми. Сьогодні емульсійні оліє-жирові продукти (соуси і майонези) активно використовуються у повсякденному харчуванні населенням для надання стравам своєрідних смакових властивостей [1, 2]. Найчастіше у склад майонезу включають рафіновану соняшникову олію, яка є джерелом енергії та забезпечує організм фізіологічно необхідними ненасиченими жирними кислотами, фосфоліпідами, стеринами, вітамінами [3]. Однак соняшникова олія багата на жирні кислоти ω_6 і містить незначну кількість ω_3 кислот та, відповідно, створені продукти із її вмістом не збалансовані за жирнокислотним складом [4, 5]. Тому дослідження мікробіологічних показників майонезу з різним співвідношенням олій під час зберігання є актуальним напрямом у технології виробництва функціональних продуктів. Проте, наявність у складі майонезу курячого жовтка та цукру робить його добрим поживним середовищем для розвитку великої кількості мікроорганізмів, здатних спричинити його псування під час зберігання, або стати потенційним джерелом для виникнення харчових інфекцій чи токсикозів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Літературні дані [6, 7] вказують, що оливкова олія характеризується значним вмістом олеїнової кислоти та має невелику кількість поліненасичених жирних кислот (ПНЖК). Водночас, лляна олія багата на незамінну ліноленову кислоту, вміст якої суттєво перевищує рекомендовану кількість, що вказує на її фізіологічну цінність та необхідність використання у харчових продуктах як джерело ω_3 жирних кислот. Також у кедровій олії визначено близько 18 % есенціальної — ліноленової кислоти. Конопляна олія та олія волоського горіха також характеризуються високим вмістом ліноленової кислоти, проте в практичних умовах використання цих олій обмежено через їхню високу вартість та малопоширеність. Тому науковці [7, 8, 9] вважають, що лляна олія за своєю біологічною цінністю займає лідируючі позиції серед харчових продуктів щодо забезпечення організму ω_3 ПНЖК і рекомендують її вводити у щоденний раціон.

Незважаючи на те, що технологічний процес виробництва майонезу не передбачає використання корисних заквасочних культур, під час технології використовують нестерильну сировину, яка може бути контамінована певною кількістю сапрофітних або технічно-шкідливих мікроорганізмів [10]. Крім того технологічне обладнання та навколишнє середовище виробничого цеху вносять деяку частину мікрофлори у готовий продукт, особливо при порушенні санітарно-гігієнічного стану на виробництві [11]. Наявність у складі майонезу курячого жовтка, цукру робить його добрим живильним середовищем для розвитку великої кількості мікроорганізмів, здатних спричинити його псування під час зберігання або бути

потенційним джерелом для виникнення харчових інфекцій чи токсикозів [12]. Тому мікробіологічна стійкість до псування виготовленого майонезу під час зберігання, в основному, залежить від початкового мікробного осіменіння продукту та дотримання температурного режиму на всьому ланцюгу від виробництва до споживання [13].

Отже, проведення мікробіологічних досліджень із визначення динаміки зміни мікрофлори в процесі зберігання майонезу дозволить обґрунтовано вибрати оптимальні температурні режими для забезпечення безпечності продукту без можливого порушення діючих нормативних вимог стандарту.

Мета статті — дослідити зміни мікробіологічних показників зразків майонезу, виготовлених з різним співвідношенням рослинних олій під час холодильного зберігання.

Відповідно до цієї мети та вибраних напрямів досліджень у процесі роботи необхідно було вирішити такі завдання:

- визначити мікробіологічні показники виготовлених зразків майонезу з різним співвідношенням олій;
- встановити зміни мікрофлори під час зберігання зразків майонезу протягом 60 добового періоду за температури $+8 \pm 0,5$ °С;
- встановити зміни мікрофлори під час зберігання зразків майонезу з вмістом консерванту протягом 120 добового періоду за температури $+8 \pm 0,5$ °С;
- обґрунтувати термін зберігання майонезу з різним співвідношенням олій без та з вмістом консерванту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Експериментальні дослідження виконано в науковій лабораторії кафедри харчової біотехнології і хімії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Розроблено рецептурний склад дослідних зразків майонезу з різним співвідношенням рослинних олій; як контрольний зразок використано майонез «Провансаль».

На першому етапі нашої експериментальної роботи було розроблено дослідні зразки майонезу із різним співвідношенням (нетрадиційних) рослинних олій для покращення його жирнокислотного складу (табл. 1). На другому етапі проведено мікробіологічні дослідження дослідних зразків майонезу під час зберігання для встановлення терміну придатності.

Таблиця 1 — Рецептурний склад дослідних і контрольного зразка майонезу (складено авторами на основі [15])

№ п/п	Сировина	Контроль	Дослідні зразки		
			№1	№2	№3
1	Соняшникова олія, г	71,78	35,03	35,03	23,90
2	Лляна олія, г	-	-	35,03	23,33
3	Конопляна олія, г	-	35,03	-	23,33
4	Яйце куряче, г	20,25	19,76	19,76	20,25
5	Сіль кухонна, г	1,18	1,14	1,14	1,18
6	Цукор-пісок, г	1,39	1,34	1,34	1,39
7	Гірчиця, г	5,78	5,60	5,60	5,78
8	Лимонна кислота, г	5,78	5,60	5,60	5,78

Майонез, як харчова система, багата рослинними жирами, білком курячого яйця, вуглеводами, які в загальному роблять його добрим поживним середовищем для розвитку багатьох видів мікроорганізмів. Інтенсивне розмноження мікрофлори під час зберігання майонезу суттєво знижує термін його придатності. Згідно ДСТУ 4487:2005 Майонези. Загальні технічні умови [16] у майонезі регламентують санітарно-показові мікроорганізми — БГКП, які характеризують гігієну технологічного процесу виробництва; технічно-шкідливу мікрофлору псування — дріжджі і плісеневі гриби, які впливають на строки його зберігання та патогенну мікрофлору, яка є показником безпечності харчового продукту. У табл. 2 наведено мікробіологічні показники свіжо виготовлених дослідних зразків майонезу.

Таблиця 2 — Мікробіологічні показники дослідних зразків свіжо виготовленого майонезу

Назва мікробіологічного показника	Вимоги ДСТУ 4487:2005 [15]	Контроль	Дослідні зразки		
			№ 1	№ 2	№ 3
БГКП, в г	в 0,01 г не допускається	> 1	> 1	> 1	> 1
Дріжджі, КУО/г	не більше 1×10^3	$2,3 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$
Плісеневі гриби, КУО/г	не більше 1×10	Не виявлено			
Патогенні мікроорганізми в т. ч. бактерії роду <i>Salmonella</i>	не дозволено в 25 г продукту	Не виявлено			

Виявлено, що за титром БГКП контрольний і дослідні зразки майонезу відповідали вимогам стандарту та більше, як в тисячу разів мали меншу допустимої кількості даних бактерій. Плісеневі гриби з 1 г продукту не виявлялися, а обсіменіння дріжджами становило від 1,7 до 2,3 КУО/г, що також вказує на значний запас стійкості до зберігання продукту. Патогенні мікроорганізми із роду сальмонела не виділялися з 25 г продукту. Проте, незважаючи на відмінні мікробіологічні показники свіжо виготовленого майонезу, під час його зберігання може відбутися його псування за рахунок швидкого розмноження мікрофлори. Тому дослідження з визначення мікробіологічної стійкості майонезу протягом періоду його холодильного зберігання дозволять встановити можливі терміни його реалізації без додавання у його рецептурний склад консервантів.

Нами було визначено зміни мікрофлори дослідних зразків майонезу з різним співвідношенням олій протягом 60 добового періоду зберігання за температури $+8 \pm 0,5$ °C (режим побутового холодильника). Результати дослідження наведено в табл. 3.

Таблиця 3 — Зміна мікробіологічних показників зразків майонезу під час зберігання за температури $+8 \pm 0,5$ °C протягом 60 діб

Назва показника	Зберігання, діб	Контроль	Дослідні зразки		
			№1	№2	№3
БГКП (колі-форми), в г	0	> 1	> 1	> 1	> 1
	15	> 1	> 1	> 1	> 1
	30	1	1	1	> 1
	45	1	1	1	> 1
	60	0,1	0,1	0,1	1
Дріжджі, КУО/г	0	$2,3 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$
	15	$139,7 \pm 4,1^*$	$75,0 \pm 2,4^*$	$68,2 \pm 2,1^*$	$54,2 \pm 1,9^*$
	30	$321,2 \pm 12,7^*$	$170,7 \pm 4,6^*$	$167,4 \pm 3,8^*$	$145,2 \pm 3,2^*$
	45	$680,4 \pm 19,5^*$	$513,5 \pm 13,2^*$	$503,6 \pm 12,9^*$	$434,7 \pm 11,4^*$
	60	$1426,1 \pm 27,8^*$	$1283,9 \pm 24,5^*$	$1207,8 \pm 23,4^*$	$1070,8 \pm 21,7^*$
Плісеневі гриби, КУО/г	0	Не виявлено			
	15	Не виявлено			
	30	$7,2 \pm 0,2$	$5,6 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,2$	$4,1 \pm 0,2$
	45	$10,1 \pm 0,3^*$	$9,4 \pm 0,3^*$	$9,0 \pm 0,2^*$	$9,2 \pm 0,2^*$
	60	$16,7 \pm 0,3^*$	$13,2^*$	$13,1 \pm 0,3^*$	$12,8 \pm 0,3^*$
Патогенні мікроорганізми в т. ч. бактерії роду <i>Salmonella</i> , КУО в 25 г	0	Не виявлено			
	15				
	30				
	45				
	60				

Примітка. * — відхилення достовірно щодо початкової кількості, $p < 0,05$

З даних досліджень табл. 3 видно, що навіть за умов холодильного зберігання (+8 °C) відбуваються зміни мікрофлори майонезу у всіх дослідних зразках та у контролі. Інтенсивність розмноження мікроорганізмів у дослідних зразках практично була аналогічна, як у контролі. Зокрема, за вмістом БГКП на 60 добу зберігання дослідні зразки майонезу відповідали вимогам ДСТУ 4487:2005 [16], так як БГКП не виділялися в 0,01 г продукту. Однак виявлено, що основні зміни у мікробіологічному процесі під час зберігання зразків майонезу відбулися під впливом розмноження дріжджів. Це пов'язано з тим, що вони відносяться до психотолерантної мікрофлори здатних розмножуватися за широкого діапазону температур. У зразках майонезу спостерігається динаміка до поступового збільшення кількості дріжджів, проте на 45 добу зберігання за $+8 \pm 0,5$ °C їх кількість не перевищувала допустимий стандартний норматив у 1×10^3 КУО/г. Водночас на 60 добу зберігання за даних умов жодний зразок майонезу за кількісним вмістом дріжджів не відповідав вимогам ДСТУ 4487:2005 [16]. Плісєневі гриби також перевищували встановлений для них норматив 1×10 КУО/г на 60 добу зберігання зразків майонезу.

Отже, з отриманих експериментальних даних видно, що дослідні зразки майонезу з різним співвідношенням олій можуть зберігатися в умовах холодильника за температури $+8 \pm 0,5$ °C упродовж 45–50 діб без порушення вимог мікробіологічних показників. Для подовження терміну зберігання зразків майонезу необхідно вводити у їх склад консерванти. Тому нами було проведено дослідження з визначення мікробіологічної стійкості дослідних зразків майонезу за умови додавання у їх склад консерванту сорбату калію у кількості 0,08 %. Адже відомі торгові марки майонезу «Торчин», «Королівський смак» та інші із вмістом консервантів мають термін зберігання за температури від 0 до +24 °C до 120 діб.

Результати дослідження зміни мікробіологічних показників дослідних зразків майонезу із вмістом консерванту наведено в табл. 4.

З даних табл. 4 видно, що доданий у майонез сорбат калію проявляв добру інгібуючу дію на мікрофлору. Зокрема, протягом 120 добового періоду зберігання титр БГКП становив одиницю у всіх зразках майонезу, що практично на один порядок більше максимально дозведеного згідно ДСТУ [16] (0,1 г). Також виявлено, що кількість дріжджів через 120 діб зберігання зразків майонезу в середньому в 2,5 рази була меншою, порівнюючи з допустимим вмістом у 1×10^3 КУО/г. Аналогічна закономірність спостерігалася і при визначенні вмісту плісєневих грибів, кількість, яких була в 2,8–3,0 рази меншою, порівнюючи з вимогами стандарту. Загалом експериментальні дані вказують, що додавання сорбату калію у майонез з різним співвідношенням есенціальних олій значно підвищує мікробіологічну стійкість продукту під час його зберігання.

Отже, підсумовуючи отримані результати можна відмітити, що часткова заміна соняшникової олії у майонезі на лляну і конопляну не впливає на динаміку мікрофлори під час його зберігання. При цьому встановлено, що під час зберігання дослідних зразків майонезу за температури $+8 \pm 0,5$ °C псування відбувається, в основному, за рахунок розмноження дріжджів. Зберігати майонез із різним співвідношенням рослинних олій в умовах холодильника без перевищення мікробіологічних нормативів можливо протягом 45–50 діб. Для підвищення стійкості майонезу до мікробіологічного псування необхідно у рецептурний склад вводити консервант (сорбат калію), який дозволить подовжити термін зберігання в умовах холодильника більше, як у два рази.

Висновки. Розроблено дослідні зразки майонезу із різним співвідношенням (нетрадиційних) рослинних олій для покращення його жирнокислотного складу. Встановлено, що за мікробіологічними показниками виготовлені контрольний і дослідні зразки майонезу відповідали вимогам ДСТУ 4487:2005 Майонези. Виявлено, що зразки майонезу з різним співвідношенням олій можуть зберігатися в умовах холодильника за температури $+8 \pm 0,5$ °C упродовж 45–50 діб без порушення вимог мікробіологічних показників. При цьому встановлено, що під час зберігання дослідних зразків майонезу псування відбувається, в основному, за рахунок розмноження дріжджів. Для підвищення стійкості майонезу до мікробіологічного псування необхідно у рецептурний склад вводити консервант (сорбат калію), який дозволяє подовжити термін зберігання в умовах холодильника до 120 діб.

Таблиця 4 — Зміна мікробіологічних показників зразків майонезу з вмістом сорбату калію під час зберігання за температури $+8 \pm 0,5$ °C протягом 60 діб

Назва показника	Зберігання, діб	Контроль	Дослідні зразки		
			№1	№2	№3
БГКП (колі-форми), в г	0	> 1	> 1	> 1	> 1
	15	> 1	> 1	> 1	> 1
	30	> 1	> 1	> 1	> 1
	45	> 1	> 1	> 1	> 1
	60	> 1	> 1	> 1	> 1
	80	> 1	> 1	> 1	> 1
	100	1	> 1	1	> 1
	120	1	1	1	1
Дріжджі, КУО/г	0	$2,3 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$
	15	$2,2 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$
	30	$2,5 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,2$	$2,4 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,2$
	45	$6,8 \pm 0,2^*$	$5,9 \pm 0,2^*$	$7,1 \pm 0,2^*$	$7,5 \pm 0,2^*$
	60	$37,4 \pm 0,4^*$	$33,2 \pm 0,3^*$	$41,5 \pm 0,4^*$	$40,1 \pm 0,4^*$
	80	$82,3 \pm 1,6^*$	$79,6 \pm 2,1^*$	$86,1 \pm 2,8^*$	$85,2 \pm 3,0^*$
	100	$194,7 \pm 5,1^*$	$188,5 \pm 5,4^*$	$201,3 \pm 7,5^*$	$180,1 \pm 6,0^*$
	120	$386,5 \pm 7,9^*$	$398,7 \pm 9,1^*$	$407,2 \pm 8,4^*$	$380,2 \pm 7,2^*$
Плісеневі гриби, КУО/г	0	Не виявлено			
	15	Не виявлено			
	30	Не виявлено			
	45	Не виявлено			
	60	Не виявлено			
	80	$1,4 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$
	100	$1,9 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,2$
	120	$3,3 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,2$
Патогенні мікроорганізми в т. ч. бактерії роду Salmonella, КУО в 25 г	0	Не виявлено			
	15				
	30				
	45				
	60				
	120				

Примітка. * — відхилення достовірно щодо початкової кількості, $p < 0,05$

Список літератури

1. Лохман Н. В., Никифоров Р. П., Крикливець Д. Обґрунтування раціональних параметрів технології низьколактозних емульсійних соусів. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2019. № 1 (29). С. 19–27.
2. Гнізевич В., Гончар Ю. Технологія та якість низьколактозних емульсійних соусів. *Товари і ринки*. 2019. № 3 (31). С. 94–104.
3. Некрасов П. О. Дослідження мікробіологічних показників жирових систем, збагачених діацилгліцеринами. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2011. № 65. С. 151–155.
4. Anastasiia Lialyk, Oleg Pokotylo, Mykola Kukhtyn, Ludmila Beyko, Yulia Horiuk, Svetlana Dobrovolska, and Oksana Mazu (2020). Fatty acid composition of curd spread with different flax oil content. *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2020. № 19 (2). P. 216–222.
5. Ваннікова В. О. Порівняльна характеристика споживчих властивостей сиркової пасти, збагаченої омега-3 та омега-6. *Праці ТДАТУ*. 2014. № 14, т. 1. С. 97–102.

6. Wisitiporn Suksombat, Lam Phuoc Thanh, Chayapol Meeprom, Rattakorn Mirattanaphrai (2014). Effects of Linseed Oil or Whole Linseed Supplementation on Performance and Milk Fatty Acid Composition of Lactating Dairy Cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 27(7), pp. 951–959. [https://doi: 10.5713/ajas.2013.13665](https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13665).
7. Lewinska A., Zebrowski J., Duda M., Gorka A., Wnuk M. (2015). Fatty Acid Profile and Biological Activities of Linseed and Rapeseed Oils. *Molecules* no. 20 (12): 22872–22880; <https://doi.org/10.3390/molecules201219887>.
8. Goyal A., Sharma V., Upadhyay N. (2014). Flax and Flaxseed Oil: an Ancient Medicine & Modern Functional Food. *Journal of Food Science and Technology* 51:1633–1653. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>
9. Lialyk, A. T., Pokotylo, O. S., Kukhtyn, M. D. Microbiological parameters of cheese paste with the content of flaxseed oil at different storage temperatures. *Scientific Messenger NUMB*. 2019, no. 21 (91), pp. 124–129. doi: 10.32718/nvlvet-f9121.
10. Дейниченко Г. В., Войцицька А. Д., Колісниченко Т. О. Дослідження мікробіологічних показників соусів емульсійних із водоростевими добавками. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2013. № 30. С. 37–42.
11. Степанова Г. С., Каримова А. З. Микробиологический контроль майонезного производства. *Управление ассортиментом, качеством и конкурентоспособностью в глобальной экономике: материалы межрегиональной конференции*. Чебоксары, 2015. С. 100–101.
12. Syromyatnikov M. Y., Kiryanova S. V., Popov V. N. Development and validation of a TaqMan RT-PCR method for identification of mayonnaise spoilage yeast. *Pichia kudriavzevii. AMB Express*. 2018. 8 (186). P. 1–9. doi :10.1186/s13568-018-0716-y.
13. Рахимова Э. И., Сироткин А. С. Влияние молочнокислых бактерий на микробиологическую сохранность майонеза. *Вестник технологического университета*. Казань, 2017. Т. 20, № 23. С. 118–120.
14. Молоко і молочні продукти. Визначання *Salmonella* (IDF 93A:1985, IDT) : ДСТУ IDF 93A:2003. [Чинний від 01-01-2005]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 21 с.
15. Сова Н. А., Луценко Н. В., Лобанова А. О., Грекова Н. В. Використання конопляної олії у технології майонезу. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків, 2019. № 5. С.152–159.
16. Майонези. Загальні технічні умови : ДСТУ 4487:2005. [Чинний від 2006-10-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 18 с.

References

1. Lokhman, N., Nykyforov, R., Kryklyvets, D. (2019). *Obgruntuvannia ratsionalnykh parametriv tekhnologii nyzkolaktoznykh emulsiinykh sousiv* [Substantiation of rational parameters of low-lactose emulsion sauces technology]. *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv* [Equipment and technologies of food production], no. 1 (29), pp. 19–27 (in Ukr.).
2. Hnitsevych, V., Honchar, Yu. (2019). *Tekhnolohiia ta iakist nyzkolaktoznykh emulsiinykh sousiv* [Technology and quality of low-lactose emulsion sauces]. *Tovary i rynky* [Goods and Markets], no. 3 (31), pp. 94–104 (in Ukr.).
3. Nekrasov, P. (2011). *Doslidzhennia mikrobiolohichnykh pokaznykiv zhyrovyykh system, zbahachenykh diatsyhlitserynamy* [Study of microbiological parameters of fatty systems enriched with diacylglycerols]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»* [Bulletin of the National Technical University “KhPI”], no. 65, pp. 151–155 (in Ukr.).
4. Anastasiia Lialyk, Oleg Pokotylo, Mykola Kukhtyn, Ludmila Beyko, Yulia Horiuk, Svetlana Dobrovolska and Oksana Mazu (2020). *Fatty acid composition of curd spread with different flax oil content*. *Nova Biotechnologica et Chimica*, no. 19 (2), pp. 216–222.
5. Vannikova, V. (2014). *Porivnialna kharakterystyka spozhyvchykh vlastyvostei syrkovoi pasty, zbahachenoї omega-3 ta omega-6* [Comparative characteristics of consumer properties of cheese paste enriched with omega-3 and omega-6]. *Pratsi TDATU* [Works of TSATU], no. 14, т. 1, pp. 97–102 (in Ukr.).

6. Wisitiporn Suksombat, Lam Phuoc Thanh, Chayapol Meeprom, Rattakorn Mirattanaphrai (2014). Effects of Linseed Oil or Whole Linseed Supplementation on Performance and Milk Fatty Acid Composition of Lactating Dairy Cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 27(7), pp. 951–959. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13665>.

7. Lewinska A., Zebrowski J., Duda M., Gorka A., Wnuk M. (2015). Fatty Acid Profile and Biological Activities of Linseed and Rapeseed Oils. *Molecules*, 20 (12): 22872–22880. <https://doi.org/10.3390/molecules201219887>.

8. Goyal A., Sharma V., Upadhyay N. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Science and Technology*. no. 51, 1633–1653. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>.

9. Lialyk A.T., Pokotylo O.S., Kukhtyn M.D. Microbiological parameters of cheese paste with the content of flaxseed oil at different storage temperatures. *Scientific Messenger NUMB*, 2019, 21. 91. 124–129. doi : 10.32718/nvlvet f9121.

10. Deinychenko, H., Voynytska, A., Kolisnychenko, T. (2013). *Doslidzhennya mikrobiolohichnykh pokaznykiv sousiv emulsiinykh iz vodorostevyvy dobavkamy* [Investigation of microbiological parameters of emulsion sauces with algae additives]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv* [Equipment and technologies of food production], № 30, pp. 37–42 (in Ukr.).

11. Stepanova, G., Karimova, A. (2015). *Mikrobiologicheskii control maioneznogo proizvodstva* [Microbiological control of mayonnaise production]. *Upravlenie assortimentom, kachestvom i konkurentosposobnostiu v globalnoi ekonomike: materialy mezhhregionalnoi konferentsii* [Assortment, Quality and Competitiveness Management in the Global Economy: Proceedings of the Interregional Conference]. Cheboksary. pp. 100–101 (in Russ.).

12. Syromyatnikov, M. Y., Kiryanova, S. V., Popov, V. N. Development and validation of a TaqMan RT-PCR method for identification of mayonnaise spoilage yeast *Pichia kudriavzevii*. *AMB Express*, 2018. 8:186. pp. 1–9. doi :10.1186/s13568-018-0716-y.

13. Rakhimova, E., Sirotkin, A. (2017). *Vlianie molochnokislykh bakterii na mikrobiologicheskuiu sokhrannost maioneza* [The influence of lactic acid bacteria on the microbiological safety of mayonnaise]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of technological university], vol. 20, no. 23, pp. 118–120 (in Russ.).

14. *Moloko i molochni produkty. Vyznachennia Salmonella*. [Milk and dairy products. Methods for determining *Salmonella*] [Chynnyi vid 01.01.2005] (2005). (IDF 93A:1985, IDT) : *DSTU IDF 93A:2003*. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 21 p. (in Ukr.).

15. Sova, N., Lutsenko, M., Lobanova, A., Hrekova, N. (2019). *Vykorystannia konopljanoi olii u tekhnolohii maionezu* [The use of hemp oil in mayonnaise technology]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. [Bulletin of the National Technical University “KhPI”]. Kharkiv. no. 5, pp. 152–159 (in Ukr.).

16. *Maionezy. Zahalni tekhnichni umovy* [Mayonnaise. General specifications] [Chynnyi vid 2006.10.01] (2006). *DSTU 4487: 2005*. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 18 p. (in Ukr.).

Objective Today, emulsion oil and fat products (sauces and mayonnaise) are actively used in the daily diet of the population to give dishes a unique taste. However, the presence of chicken yolk and sugar in mayonnaise makes it a good nutrient medium for the development of a large number of microorganisms that can cause it to spoil during storage, or become a potential source of foodborne infections or toxicosis.

The aim is to investigate changes in microbiological parameters of mayonnaise samples made with different ratios of vegetable oils during refrigerated storage.

Methods. Determination of the number of *Escherichia coli* bacteria in mayonnaise samples was performed in Kessler medium, incubation of crops was performed at a temperature of 37 ± 1 °C for 24 hours. Yeast and molds were determined on Saburo medium — incubation at a temperature of 25 ± 1 °C for 3–5 days. Identification of yeast and molds was performed by cultural and morphological properties (smear microscopy). Bacteria of the genus *Salmonella* were determined according to *DSTU IDF 93A: 2003*.

Results. Experimental samples of mayonnaise with different ratio of (non-traditional) vegetable oils have been developed to improve its fatty acid composition. It was established that according to microbiological indicators, the made control and experimental samples of mayonnaise met the require-

ments of the standard and more than a thousand times less than the allowable number of microorganisms. It was found that samples of mayonnaise with different oil ratios can be stored in a refrigerator at a temperature of $+8 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ for 45–50 days without violating the requirements of microbiological parameters. It was found that during the storage of prototypes of mayonnaise spoilage occurs mainly due to the reproduction of yeast. To increase the resistance of mayonnaise to microbiological spoilage, it is necessary to introduce a preservative (potassium sorbate) into the prescription composition, which allows to extend the shelf life in the refrigerator more than twice.

Therefore, partial replacement of sunflower oil in mayonnaise with flaxseed and hemp does not affect the dynamics of the microflora during storage. Store mayonnaise with a different ratio of vegetable oils in the refrigerator without exceeding microbiological standards is possible for 45–50 days.

Key words: mayonnaise, microbiological indicators, bacteria of the *Escherichia coli* group, yeast, molds, potassium sorbate.

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-52-60

УДК 664.644.5:664.64.016

Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент
Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент
Боднарук О. А., асистент
Філіппова О. Ю., здобувач ОС магістра

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

САНІТАРНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА БЕЗ ДРІЖДЖІВ

UDC 664.644.5:664.64.016

Simakova O. O., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor
Goraiainova Iu. A., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor
Bodnaruk O. A., Assistant Professor
Filippova O. Yu., 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

SANITARY AND TECHNOLOGICAL MEASURES AND DETERMINATION OF MICROBIOLOGICAL INDICATORS IN THE PRODUCTION OF BREAD WITHOUT YEAST

Мета — застосування санітарно-технологічних заходів при підготовці зерна до подрібнення, одержанні борошна з цільнозмеленого зерна пшениці дезінтеграційно-хвильовим методом та хліба на його основі механічним способом розпушування тіста без використання хлібопекарських дріжджів.

Методи. Для дослідження використовували зерно м'якої пшениці 3-го класу (ДСТУ 3768:2019), борошно із цільнозмеленого зерна пшениці (ГСТУ 46004-99). Вміст мікотоксинів (афлатоксин В1, Т-2 токсин, фумонізін В1, охратоксин, зеараленон) визначали імуноферментним методом. Зміст у зерні гексахлорану визначали методом газової хроматографії. Подрібнення очищеного зерна проводили дезінтеграційно-хвильовим методом при слабкому надвисокочастотному інформаційному впливі (десяті частки мікровата) на довжинах хвиль

Надійшла до редакції 28.10.2021 р. © О. О. Сімакова, Ю. А. Горайнова, О. А. Боднарук, О. Ю. Філіппова, 2021

близько 8 мм за класичною схемою збудження генератора на діоді Ганна. Хліб, отриманий механічним способом розпушування тіста, готували шляхом замісу та збивання рецептурних компонентів на напівпромисловій змішувально-збивально-формуєчій установці при частоті обертання мішалок 16 с^{-1} , температурі $29 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, під надлишковим тиском повітря 0,4 МПа протягом 1,5 хв. Випікання відформованих тістових заготовок здійснювали у ротаційній печі марки RFS-9E при температурі $195 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 36–38 хв. Аналіз показників якості хліба проводили відповідно до вимог ДСТУ 7517:2014. Мікрофлору хліба аналізували протягом 7 діб зберігання за кількістю мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФМ), наявності цвілі, дріжджів, бактерій групи кишкової палички (БГКП). Появу цвілі на хлібі визначали візуально, при цьому щодня спостерігали за розвитком у виробках картопляної хвороби, яку оцінювали відповідно до інструкції щодо попередження картопляної хвороби хліба.

Результати експериментальних досліджень ілюструють ефективність реалізації всіх санітарних та технологічних методів очищення та підготовки зерна до подрібнення, отримання борошна з цілого зерна пшениці та хліба на її основі шляхом механічного розпушування тіста без використання хлібопекарських дріжджів за новою технологією. Підвищення мікробіологічної чистоти борошна з цільнозмеленого зерна пшениці стало можливим при використанні традиційних способів підготовки зерна до помелу, застосуванні дезінтеграційно-хвильового методу подрібнення зерна в борошно, внесенні до рецептури бездріжджового хліба концентрованого яблучного соку, що дозволило отримати продукт підвищеної харчової цінності.

Ключові слова: хліб бездріжджовий, цільнозмелене зерно, пшеничне борошно, хлібобулочні вироби, тісто.

Постановка проблеми. Продукти з борошна, особливо вироби з пшеничного борошна, на теперішній час складають основу харчування людини, є продуктами щоденного споживання у всіх контингентів населення. Найбільш поширеним видом борошняних виробів є хлібобулочні вироби, яких налічується кілька сотень найменувань [1]. У зв'язку з цим, якість і харчова цінність хліба та хлібобулочних виробів має першорядне значення.

Для створення хлібопродуктів із різними функціональними властивостями необхідно розробляти принципово нові технології та обладнання, що забезпечують комплексну переробку зернової сировини на основі сучасних електрофізичних способів, які не лише зберігали б технологічні властивості зерна та продуктів його переробки, але й покращували якість хлібобулочних виробів, забезпечуючи їх мікробіологічну чистоту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Слід зазначити, що для здорового харчування перевага надається хлібу, приготовленому на основі борошна з низьких сортів або цільнозмеленого зерна різних злакових культур [2].

Розроблено спосіб отримання хліба без використання хлібопекарських дріжджів на основі борошна з цільнозмеленого зерна пшениці за принципово новою технологією шляхом механічного розпушування тіста під надлишковим тиском повітря, що надходить при замісі тіста в тістомісильну камеру збивальної установки. Якість такого хліба багато в чому залежить від якості використовуваного зерна, на поверхні якого в процесі вирощування міститься залишкова кількість важких металів, мікотоксинів, пестицидів та інших забруднювачів [3]. Для отримання бездріжджового хліба механічним способом розпушування тіста необхідно ретельно проводити вхідний контроль зерна та попередню підготовку його до помелу в борошно, так як у даній технології при отриманні тіста відсутній процес бродіння і продукти метаболізму дріжджів, що утворюються (органічні кислоти, етиловий спирт, ангідриди та ін.), які перешкоджають розвитку сторонньої мікрофлори в продукті [4].

Мета статті — застосування санітарно-технологічних заходів при підготовці зерна до подрібнення, одержанні борошна з цільнозмеленого зерна пшениці дезінтеграційно-хвильовим методом та хліба на його основі механічним способом розпушування тіста без використання хлібопекарських дріжджів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення поставленої мети роботу проводили в три етапи: на першому вивчали якість зерна на окремих етапах його підготовки до подрібнення; на другому аналізували якість цільнозернового борошна, отриманого дезінтеграційно-хвильовим методом при слабкому надвисокочастотному інформаційному впливі; на третьому оцінювали якість хліба на основі борошна з цільнозмеленого зерна пшениці, отриманого механічним способом розпушування тіста без хлібопекарських дріжджів.

З метою забезпечення якості та безпеки борошна з цільнозмеленого зерна пшениці проведено оцінку якості використовуваного зерна м'якої пшениці 3-го класу. За всіма органолептичними та фізико-хімічними показниками зерно відповідало нормованим вимогам ДСТУ 3768:2019.

Динаміка зміни вмісту мікотоксинів в досліджуваному зерні пшениці на певних етапах його підготовки до помелу представлена у табл. 1.

Таблиця 1 — Зміна вмісту мікотоксинів у зерні пшениці

№	Вміст мікотоксинів, мг/кг	Номер проби зерна				
		1	2	3	4	5
1	Афлатоксин В1	4,3	3,3	2,8	1,3	Відсутній
2	Т-2 токсин	91,4	74,3	Відсутній	Відсутній	Відсутній
3	Фумонізін В1	768	631	151	22	Відсутній

У вихідному зразку зерна пшениці № 1 вміст мікотоксинів не перевищував значень гранично допустимих концентрацій, зазначених у вимогах технічного регламенту зернового складу № 835/9434 із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства аграрної політики № 442 від 16.11.2004 р. Після попередньої обробки зерна на зерночисному повітряно-ситовому сепараторі та тріерах (куколе- та овсюговідбірнику) у зразку № 2 вміст афлатоксину В1 знизився на 23,3 %, Т-2 токсину — на 18,7 %, фумонізіну В1 — на 17,8 %. Після проходження зерен через першу обойну машину, де відбувається сухе очищення їх поверхні від пилу, бруду, піску, надірваних у процесі обробки плодкових оболонок, сторонніх домішок (легких, мінеральних, феродомішок), а також після часткового лущення, відділення оболонок та пошкодженого зерна, у зразку № 3 вміст афлатоксину знизився ще на 15,2 %, фумонізіну В1 — на 76,1 %, вміст Т-2 токсину зовсім не було виявлено. Після ще дворазової обробки зерна на другий і третій обойній машині з одночасним очищенням його поверхні за допомогою щіткових пристроїв у зразку № 4 вміст афлатоксину В1 знизився ще на 53,6 %, фумонізіну В1 — на 85,4 %, у зразку № 5 вміст мікотоксинів не виявлено. Дезоксініваленол, охратоксин і зеараленон досліджуваних проб не виявлялися.

Вихідний вміст пестициду гексахлорану в зерні становив 0,22 мг/кг, що є допустимим за вимогами технічного регламенту. У ході підготовчих операцій концентрація пестициду у зерні помітно знизилася до 0,18 мг/кг (приблизно на 20 %), а після подрібнення зерна у борошно методом дезінтеграційно-хвильового перетворення було виявлено лише сліди досліджуваного пестициду. Значне зменшення залишків пестицидів у зерні може бути пояснено у тому числі впливом на продукт фізичного методу, зокрема нагрівання [5].

Доведено, що ретельне очищення зерна, багаторазовий пропуск його через обойні машини та подрібнення його методом дезінтеграційно-хвильового перетворення з енергією електромагнітного поля надвисокої частоти забезпечують ефективне знезараження зерна від різних забруднювачів, що дозволяє в тому числі знизити мікробіологічну обсімененість цільнозмеленого борошна та забезпечити безпеку хліба, отриманого механічним способом розпушування тіста.

Результати аналізу показників якості двох партій борошна з цільнозмеленого зерна пшениці, отриманих різними способами та відмінними ступенем подрібнення [6], представлені в табл. 2.

Таблиця 2 — Основні показники якості борошна із цільнозмеленого зерна пшениці

№	Показник якості	Характеристика борошна із цільнозмеленого зерна пшениці (норма за ГСТУ 46004-99)	Борошно із цільнозмеленого зерна пшениці	
			I партія (отримана на дезінтеграторі марки Д-150)	II партія (отримана на вальцево-му млині)
Органолептичні показники				
1	Колір	Білий з сіруватим відтінком		
2	Смак	Властивий цьому виду борошна, без сторонніх присмаків, не кислий, не гіркий		
3	Запах	Властивий даному виду борошна, без сторонніх запахів, не затхлий, не пліснявий		
4	Наявність мінеральної домішки	При розжовуванні борошна не повинно відчуватися хрускоту	Хрускіт не відчувається	
5	Зараженість шкідниками	Не допускається		Не виявлено
Фізико-хімічні показники				
6	Масова частка вологи, %	Не більше 15	12,2	13,5
7	Масова частка золи в перерахунку на суху речовину, %	Не менш ніж на 0,07 % нижче зольності зерна до очищення, але не більше 2 %	1,6	1,5
8	Масова частка сирої клейковини, %	Не менше 20	24	22
9	Деформація стиснення сирої клейковини, од. приладу ІДК	—	58,3	62,1
10	Якість сирої клейковини, ум. од. приладу ІДК	Не нижче II групи	I	I
11	Крупність помелу, %:	Не більше 2	Дисперсність частинок борошна, мкм/%	
	залишок на ситі із дротяної сітки згідно з НД	Сито № 045	0–25/7,5	0–60/15
	прохід через сито згідно з НД	Не менше 50 із шовкової тканини № 38 або поліамідної тканини № 41/43 ПА	25–30/85 30–100/7,5	60–90/80 90–100/5
12	Число падіння (ЧП), с	Не менше 160	294	285
13	Титрована кислотність, град.	—	3,7	3,4
14	Металомагнітна домішка, мг на 1 кг борошна; розміром окремих частинок у найбільшому лінійному вимірі 0,3 мм та (або) масою не більше 0,4 мг	Не більше 3	1,7	1,8

Цільнозмелене борошно, отримане шляхом подрібнення зерна на дезінтеграторі, має меншу вологість — 12,2 %, так як при більш тонкому подрібненні відбувається сильне нагрівання продукту та часткове видалення капілярно-пов'язаної вологи, та більший вміст сирої клейковини — 24 % (на суху речовину). Сумарна частка вільних амінокислот у білку в середньому збільшується на 1,5–2 % (на суху речовину). При тонкому подрібненні відбуваються два безперервні процеси: механічне деформування та ендогенне нагрівання продукту, при цьому відбувається руйнування кристалічних ґрат крохмаль-

них зерен та вивільнення з них так званого вільного крохмалю, що містить незначну частину защемлених і адсорбційно зв'язаних білків, причому чим інтенсивніший вплив подрібнювальних механізмів на зерно, тим більше утворюється деформованого крохмалю зі зруйнованою кристалічною решіткою. В даному випадку, при подрібненні м'якої пшениці у борошні утворюється до 45 % вільного крохмалю, кількість білку в якому становить близько 2,7 % [7]. За рахунок підвищення дисперсності та питомої поверхні частинок борошна, отриманого в дезінтеграторі, частка вільних водорозчинних білків-альбумінів збільшується на 7,5 мг, глобулінів — на 15,3 мг (на 100 г продукту), що у середньому вище на 1,4 і 4,9 % відповідно, ніж у борошні, подрібненому вальцевим способом. Водорозчинні білки, як поверхнево-активні речовини, насамперед відповідають за формування в збивному тісті пінної структури. У процесі інтенсивного замісу борошна та води спочатку відбувається змочування частинок борошна водою, потім гідратація молекул води гідрофільною поверхнею, набухання частинок борошна та перехід у розчин водорозчинних речовин, у тому числі водорозчинних білків. У борошні з цільнозмеленого зерна пшениці водорозчинних білків міститься близько 2 г/100 г продукту. Збільшення в тісті навіть незначної частки водорозчинних білків сприяє прискоренню формування пінних плівок повітряних бульбашок та кращого насичення тіста повітрям. При високоінтенсивному замісі тіста амінокислоти з полярними та неполярними, позитивно та негативно зарядженими бічними ланцюгами як клейковинних, так і водорозчинних фракцій білків, а також збільшена кількість клейстеризованого крохмалю при випіканні беруть участь у формуванні структури м'якуша хліба з підвищеною вологістю [8]. Результати оцінки зв'язку вологи в хлібі термогравіметричним методом показали збільшення частки мономолекулярно-пов'язаної вологи на 7–9 %, що сприяє зниженню активності води в хлібі та уповільненню процесу черствіння та розвитку мікроорганізмів при його зберіганні.

Органолептичні та фізико-хімічні показники хліба, отриманого механічним способом розпушування тіста без хлібопекарських дріжджів на основі борошна із цільнозмеленого зерна пшениці, відповідають вимогам ДСТУ 7517:2014 та представлені у табл. 3.

Таблиця 3 — Органолептичні та фізико-хімічні показники хліба бездріжджового

№	Показник	Значення показника
<i>Органолептичний:</i>		
1	Поверхня	Шорстка, без великих тріщин та підривів
2	Колір	Золотисто-жовтий
3	Смак і запах	Відповідають хлібу з борошна цільнозмеленого зерна, без стороннього смаку та запаху
4	Стан м'якшю	Пропечений, не вологий на дотик, без грудочок та слідів непромісу
<i>Фізико-хімічний:</i>		
5	Вологість м'якшю, %	51,7
6	Пористість, %	76,0
7	Кислотність, град.	3,1

Результати визначення та розрахунку харчової та енергетичної цінності хліба без використання хлібопекарських дріжджів на основі борошна із цільнозмеленого зерна пшениці представлені в табл. 4.

Порівняно з традиційним хлібом із пшеничного обойного борошна розроблений хліб має підвищену харчову цінність та знижену калорійність. У його складі міститься більше білків — у 1,5 рази, вуглеводів — у 1,2 рази, а також кальцію, калію, магнію та фосфору — у 3,2; 2; 1,3; 1,2 рази відповідно. Отриманий виріб у своєму складі містить значну кількість клітковини, вітамінів В₁ та РР, ступінь задоволення яких становить 20,9; 20,7; 24,5 % відповідно.

Таблиця 4 — Харчова та енергетична цінність хліба бездріжджового та ступінь задоволення добової потреби організму в основних харчових речовинах

№	Харчова речовина	Середньодобова потреба організму людини [9]	Зміст в 1 порції (100 г хліба)	Задоволення добової потреби, %
1	Білки, г	75	8,7	11,6
2	Жири, г	83	1,1	1,3
3	Засвоювані вуглеводи, г	365	36,3	9,9
4	Клітковина, г	30	6,26	20,9
5	Органічні кислоти, г	2	3,3	165,0
Мінеральні речовини, мг:				
6	Калій	3500	198,7	5,7
7	Кальцій	1000	31,7	3,2
8	Магній	400	60,3	15,1
9	Фосфор	1000	310,5	31,1
10	Залізо	14	3,31	23,6
Вітаміни, мг:				
11	B ₁	1,5	0,31	20,7
12	B ₂	1,8	0,11	4,3
13	PP	20	4,9	24,5
Енергетична цінність, ккал (кДж)		2500 (10 467)	169 (708)	6,8

Біологічна цінність білка згідно з методом амінокислотних шкал визначається складом незамінних (не синтезованих в організмі) амінокислот. За хімічний скор випробуваного білка приймається найменше відношення, отримане для вмісту будь-якої з незамінних амінокислот в досліджуваному білку до її вмісту в еталонному білку. Для оцінки біологічної цінності білку бездріжджового хліба розраховували його амінокислотний скор відносно амінокислотного скор еталонного білку [9]. Біологічна цінність білка хліба бездріжджового лімітується вмістом лізину та становить 52,9 %. Вміст незамінних амінокислот та деякі показники біологічної цінності білка хліба бездріжджового представлені у табл. 5.

Таблиця 5 — Амінокислотний скор білка хліба бездріжджового на основі борошна із цільнозмеленого зерна пшениці

№	Незамінна амінокислота	Еталон ФАО/ВООЗ, г/100 г білка	Зміст кислоти, г/100 г білка продукту	Амінокислотний скор, %
1	Лізін	4,5	2,38	52,9*
2	Лейцин	5,9	5,87	99,5
3	Ізолейцин	3,0	3,08	102,7
4	Валін	3,9	3,62	92,8
5	Метіонін + цистин	2,2	1,26	57,3
6	Треонін	2,3	2,52	109,6
7	Триптофан	0,6	1,05	175,0
8	Фенілаланін + тирозин	3,8	4,54	119,5

Примітка * — лімітуюча амінокислота.

Надлишок інших амінокислот, що містяться в білку, може бути використаний на енергетичні потреби організму. Середня величина надлишку амінокислотного скор незамін-

них амінокислот у порівнянні зі значенням лімітуючої амінокислоти, характеризується КВАС (%), який показує надмірну кількість незамінних амінокислот, використовуваних на пластичні потреби, у разі це значення становить 48,2 %. Потенційна (теоретична) біологічна цінність білка бездріжджового хліба становить 51,8 %.

Для покращення смакових характеристик, підвищення харчової цінності та мікробіологічної чистоти хліба бездріжджового до рецептури додатково вносили концентрований яблучний сік у кількості 3 % від маси тіста [10]. Отримані показники мікробіологічної обсімененості отриманого хліба з концентрованим яблучним соком, упакованого у прозору поліпропіленову плівку «VIAXPLEN», після 7 діб зберігання представлені у табл. 6.

Таблиця 6 — Мікробіологічні показники бездріжджового хліба

№	Показник	Хліб з пшеничного обойного борошна (контроль)	Хліб на основі борошна із цілнормального зерна пшениці, отриманого дезінтеграційно-хвильовим методом
1	МАФАМ, КУО/г	$4,6 \times 10^2$	$3,1 \times 10^2$
2	Цвілі, КУО/г	19	13
3	Дріжджі, КУО/г	Менше 10	Менше 10
4	БГКП (коліформи)	Відсутні	Відсутні

Результати свідчать, що у хлібі на основі борошна з цілнормального зерна пшениці обсімененість нижче на 32,6 % порівняно з хлібом із пшеничного обойного борошна (контроль). Це доводить, що ретельна обробка зерна в електромагнітному полі дезінтегратора, а також використання у рецептурі хліба концентрованого яблучного соку, у складі якого міститься значна кількість яблучної, лимонної та винної органічних кислот, що сприяють пригніченню росту мікрофлори та мають на неї інгібуючий вплив, дозволяє підвищити мікробіологічну чистоту виробу та продовжити термін його придатності [8]. Дослідження у зразках хліба бездріжджового наявності плісняви показали, що в контролі цвіль з'явилася на п'яту добу, а в розробленому хлібі — на сьому. БГКП були відсутні в обох зразках, картопляна хвороба в процесі зберігання в жодному зразку не була виявлена.

Висновки. Результати експериментальних досліджень ілюструють ефективність реалізації всіх санітарних та технологічних методів очищення та підготовки зерна до подрібнення, отримання борошна з цілого зерна пшениці та хліба на її основі шляхом механічного розпушування тіста без використання хлібопекарських дріжджів за новою технологією. Підвищення мікробіологічної чистоти борошна з цілнормального зерна пшениці стало можливим при використанні традиційних способів підготовки зерна до помелу, застосуванні дезінтеграційно-хвильового методу подрібнення зерна в борошно, внесенні до рецептури бездріжджового хліба концентрованого яблучного соку, що дозволило отримати продукт підвищеної харчової цінності.

Список літератури

1. Державна служба статистики України. Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України. Київ : Консультант, 2016. 54 с.
2. Коденцова В. М. Пищевые продукты, обогащенные витаминами и минеральными веществами: их роль в обеспечении организма микронутриентами. *Вопросы питания*. 2008. № 4. С. 16–26.
3. Лозова Т. М. Наукові основи формування споживних властивостей і зберігання якості борошняних кондитерських виробів : монографія / ред. І. В. Сирохман. Львів : ЛКУ, 2009. 456 с.

4. Магомедов Г. О., Пономарева Е. И. Научные и практические основы технологии сбивных функциональных хлебобулочных изделий: монография. Воронеж : ВГУИТ, 2010. 241 с.
5. Гашко Е. С., Почтовик Е. С., Гучева Н. В. Способы снижения остаточного содержания пестицидов в зерне. *Молодой исследователь Дона*. 2017. № 6 (9). С. 13–21.
6. Чертов Е. Д., Пономарева Е. И., Кустов В. Ю. Изменение свойств муки из цельносмолотого зерна пшеницы в зависимости от размера частиц. *Хлебпродукты*. 2011. № 11. С. 50–61.
7. 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, no. 11 (92). P. 57–64. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127173.
8. 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, no. 11 (102). P. 23–32. doi: 10.15587/1729-4061.2019.184464.
9. Погарская В. В. и др. Новые технологии функциональных оздоровительных продуктов : монография. Харьков, 2007. 262 с.
10. Сирохман И. В., Лозова Т. М. Наукові спрямування у поліпшенні споживних властивостей та якості борошняних кондитерських виробів. *Наук. праці НУХТ*. 2008. № 25. С. 40–43.

References

1. State Statistics Service of Ukraine (2016). *Balansy ta spozhyvannya osnovnykh produktiv kharchuvannya naseleennyam Ukrayiny* [Balances and consumption of basic foodstuffs by the population of Ukraine]. Kyiv, Konsultant Publ., 54 p.
2. Kodencova V. M. (2008). *Pishchevye produkty, obogashchennye vitaminami i mineral'nymi veshchestvami: ih rol' v obespechenii organizma mikronutrientami* [Foods enriched with vitamins and minerals: their role in providing the body with micronutrients]. *Voprosy pitaniya* [Nutritional issues], no. 4, pp. 16–26.
3. Lozova, T. M. (2009). *Naukovi osnovy formuvannia spozhyvnykh vlastyvostei i zberihannia yakosti boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv* [Scientific bases of formation of consumer properties and preservation of quality of flour confectionery] / I. V. Syrokhman (ed.). Lviv, LKU, 456 p.
4. Magomedov, G. O., Ponomareva, E. I. (2010). *Nauchnyye i prakticheskiye osnovy tekhnologii sbivnykh funktsional'nykh khlebobulochnykh izdeliy* [Scientific and practical fundamentals of technology of chopped functional bakery products]. Voronezh, VSTA Publ., 241 p.
5. Gashko, E. S., Pochtovik, E. S., Gucheva, N. V. (2017). *Sposoby snizheniya ostatochnogo sodержaniya pestitsidov v zerne* [Methods for reducing the residual content of pesticides in grain]. *Molodoy issledovatel' Dona* [The young researcher of the Don], no. 6 (9), pp. 13–21.
6. Chertov, E. D., Ponomareva, E. I., Kustov., V. Yu. (2011). *Izmeneniye svoystvmuki iz tsel'nosmolotogo zerna pshenitsy v zavisimosti ot razmera chastits* [Change the properties of flour from whole-wheat grain, depending on the particle size]. *Hleboprodukty* [Bread products] no. 11, pp. 50–61.
7. 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*. Vol. 2, no. 11 (92). pp. 57–64. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127173.
8. 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. Vol. 6, no. 11 (102). pp. 23–32. doi: 10.15587/1729-4061.2019.184464.

9. Pogarskaya, V. V. (ed.) (2007). *Novye tekhnologii funktsional'nyh ozdorovitel'nyh produktov* [New technologies of functional health products]. Kharkiv, 262 p.

10. Syrokhman, I. V., Lozova, T. M. (2008). *Naukovi spriamuvannia u polipshenni spozhyvnykh vlastyvostei ta yakosti boroshnianskykh kondyterskykh vyrobiv* [Scientific directions in improving the consumer properties and quality of flour confectionery] *Nauk. pratsi NUKhT* [Scientific works of NUHT], no. 25, pp. 40–43.

Objective. *Application of sanitary-technological measures in preparation of grain for grinding, obtaining flour from whole wheat grain by disintegration-wave method and bread based on it by mechanical method of loosening the dough without the use of baking yeast.*

Methods. *Class 3 common wheat grain (DSTU 3768: 2019) and whole wheat flour (GSTU 46004-99) were used for the study. The content of mycotoxins (aflatoxin B1, T-2 toxin, fumonisin B1, ochratoxin, zearalenone) was determined by enzyme-linked immunosorbent assay. The grain content of hexachlorane was determined by gas chromatography. The grinding of the purified grain was carried out by the disintegration-wave method with a weak ultrahigh-frequency information effect (tenths of a microwatt) at wavelengths of about 8 mm according to the classical scheme of excitation of the generator on the Gunn diode. Bread obtained by mechanical loosening of the dough was prepared by kneading and beating the recipe components on a semi-industrial mixing-beating-forming unit at a speed of 16 s^{-1} , temperature $29 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, under an excess air pressure of 0.4 MPa for 1.5 min. Baking of the formed dough pieces was carried out in a rotary kiln of the RFS-9E brand at a temperature of $195 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 36–38 minutes. The analysis of bread quality indicators was performed in accordance with the requirements of DSTU 7517: 2014. The microflora of bread was analyzed for 7 days of storage by the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms, the presence of mold, yeast, *Escherichia coli* bacteria. The appearance of mold on bread was determined visually, and the development of potato disease in products was monitored daily, which was evaluated in accordance with the instructions for the prevention of potato disease of bread.*

The results *of experimental research illustrate the effectiveness of all sanitary and technological methods of cleaning and preparation of grain for grinding, obtaining flour from whole wheat and bread based on it by mechanical loosening of the dough without the use of baking yeast by the new technology. Improving the microbiological purity of whole wheat flour has become possible by using traditional methods of preparing grain for grinding, using the disintegration-wave method of grinding grain into flour, adding to the recipe of unleavened bread concentrated apple juice, which allowed to obtain a food product.*

Key words: *unleavened bread, whole grain, wheat flour, bakery products, dough.*

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

Гопкало Л. М. канд. економ. наук, доцент¹

Слащева А. В., канд. техн. наук, доцент²

Пусікова О. А., асистент²

Стукальська Н. М., канд. техн. наук, доцент³

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна), e-mail: popova.svy@nubip.edu.ua.

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

³ Національний університет харчових технологій (м. Київ, Україна), e-mail: stukalska@nuht.edu.ua.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ АКТИВАЦІЇ ДРІЖДЖІВ У ПРИСУТНОСТІ СУХОЇ КАРТОПЛЯНОЇ ДОБАВКИ

UDC 664.642.8

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

*Gopkalo L. M., PhD in Economics sciences,
Associate Professor¹*

*Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor²*

Pusikova O. A., Assistant Professor²

*Stukalska N. M., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor³*

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: popova.svy@nubip.edu.ua.

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

³ National University of Food Technology (Kyiv, Ukraine), e-mail: stukalska@nuht.edu.ua.

DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF YEAST ACTIVATION IN THE PRESENCE OF DRY POTATO ADDITIVE

Мета — метою проведених досліджень є наукове обґрунтування технологічних параметрів процесу попередньої активації дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, як поживне середовище запропоновано суху картопляну добавку (СКД).

Методи. Методичною основою виконання комплексних досліджень є: встановлення оптимальних параметрів попередньої активації дріжджів (ПАД) за ступенем осмочутливості та підйомної сили дріжджів. Для визначення оптимальних параметрів процесу ПАД був застосований метод планування експерименту. Цей метод є найбільш раціональним та може бути використаний на будь-якій модельній системі [9].

Підйомну силу дріжджів виміряли прискореним методом за часом впливання кульки тіста. Осмочутливість — методом порівняльного оцінювання підйомної сили дріжджів у тісті без солі та з підвищеним її вмістом.

Для приготування контрольного зразка використовували рецептуру безопарного дріжджового тіста. Для досліджуваного зразка використовували рецептуру безопарного дріжджового тіста із додавання сухої картопляної добавки (СКД) на етапі активації дріжджів.

Проведеними раніше дослідженнями прямого підрахунку колонії дріжджових клітин [10] встановлено, що введення СКД у середовище активації дозволяє значно скоротити лаг-фазу,

Надійшла до редакції 10.11.2021 р.

© С. Ю. Попова, Л. М. Гопкало, А. В. Слащева,
О. А. Пусікова, Н. М. Стукальська, 2021

тобто адаптація дріжджових клітин за наявності добавки відбувається інтенсивніше, ніж у зразку дріжджового середовища з цукром.

Також доведено, що присутність у середовищі активації дріжджів сприяє покращенню показників ферментативної активності (зимазної та мальтазної) досліджуваних зразків у порівнянні з контролем.

Цей аспект дозволяє прогнозувати скорочення часу технологічного процесу розстоювання тіста, а також підтверджує посилення щодо вилучення з рецептурного складу цукру.

Результати. Враховуються математичні розрахунки рівня дріжджових клітин та підвищеної температури осмотичної чутливості, а також залежність від тривалості процесу попередньої активації дріжджів (ПАД). Експеримент був розроблений відповідно до ортогональної конструкції симетрії Бенкіна. В результаті експериментальних та обчислювальних задач визначено оптимальні параметри активації дріжджів у присутності сухих добавок картоплі (СКД).

Ключові слова: суха картопляна добавка, попередня активація дріжджів, підйомна сила дріжджів, осмочутливість.

Постановка проблеми. В процесі виробництва дріжджового тіста як правило використовують пресовані або сухі дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, які сприяють протіканню спиртового та інших видів бродіння тіста.

Теоретичні основи спиртового бродіння полягають у тому, що хлібопекарські дріжджі можуть зброджувати моно-, ди- та трисахариди. Для дріжджів характерно послідовне споживання різних цукрів: спочатку вони зброджують моносахариди (глюкозу, фруктозу), потім мальтозу.

Борошно містить у своєму складі вільні цукри та крохмаль, які гідролізуються під дією ферментів борошна з утворенням мальтози. Основним вуглеводом при зброджуванні тіста є саме мальтоза та у деякій мірі мальтотриоза, які утворюються під впливом амілолітичних ферментів борошна. Ферменти, які беруть участь у транспорті та зброджуванні мальтози (мальтозоперміаза), утворюються тільки після того, як дріжджові клітини потрапляють у середовище, що містить цей дісахарид [1].

Перебудова дріжджів зі зброджування глюкози на зброджування фруктози, і особливо мальтози, потребує деякого часу, що пов'язано з індукцією ферментів, тому швидкість газоутворення в дріжджовому тісті в цей період знижується.

Після адаптації до зброджування мальтози швидкість газоутворення знову зростає, доки не відбудеться недолік мальтози у середовищі, тобто матиме місце другий підйом тіста [2].

Інтенсивність ферментних перетворень у середині клітини залежить від стану клітинної стінки, впливом на яку можна регулювати швидкість біохімічних процесів бродіння. Згідно з літературними даними [2], для дріжджів характерно послідовне споживання різних цукрів, спочатку вони зброджують прості цукри, потім більш складні, при цьому розщеплюючи їх на прості.

Таким чином, вуглеводний склад поживного середовища є одним з найважливіших факторів, що обумовлюють фізіологічний стан дріжджів. Отже, цей факт дає можливість прогнозувати, що розробка технологій добавок із певним вуглеводним складом є перспективним напрямком в області удосконалення технологічного процесу виробництва дріжджового тіста.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш тривалим процесом всього технологічного циклу виробництва дріжджового тіста є процес дозрівання. Прискорити процес дозрівання, майже всіх видів тіста, можна за рахунок застосування харчових добавок [3, 4], або різноманітних способів активації хлібопекарських дріжджів.

Ферментативні системи енергетичного обміну пресованих дріжджів пристосовані до аеробно-сахарозного середовища і мало придатні для анаеробно-мальтозного середовища пшеничного тіста. Для адаптації до борошняного середовища з метою перебудови енергетичного обміну дріжджів з процесу дихання на процес бродіння і посилення синте-

зу бродильних ферментів у технологічний процес рекомендовано вводити додаткову операцію — попередню активацію дріжджів, яка передбачає їх витримку в різних поживних середовищах і дії на клітини фізичних чинників перед їх внесенням у тісто [2].

У технологічній практиці виробництва дріжджового тіста розрізняють хімічні та фізичні способи активації дріжджових клітин.

Так, наприклад, відомий спосіб приготування тіста з використанням плазмохімічно активованих водних розчинів [5].

Автори [6] запропонували спосіб активації дріжджової суспензії дискретно-імпульсним введенням енергії протягом $(9...11) \cdot 60$ с. Було встановлено, що такий спосіб попередньої обробки дріжджів сприяє покращенню показників підйомної сили тіста, а також зимазної та мальтазної активності дріжджів.

Відомий спосіб активації дріжджового тіста, що передбачає витримування дріжджів у водному розчині мікробного полісахарида ксампану, взятого в кількості 0,05–0,15% до маси борошна, при температурі 35 °C протягом 40·60 с. Полісахариди рослинного та мікробного походження сприяють поліпшенню фізико-хімічних та реологічних властивостей тіста, при цьому спостерігається підвищення виходу виробів та уповільнення процесів черствіння [7].

Групою дослідників [8], запропоновано спосіб одержання дріжджового тіста, який включає активацію дріжджів у водно-борошняно-дріжджовій суспензії на основі ячмінного борошна, яку витримують протягом $(30–35) \cdot 60$ с за температури 18–25 °C. Технологічний ефект полягає у скороченні часу бродіння тіста на 20–40%, підвищенні технологічності процесу та поліпшенні пористості готових виробів.

Мета статті — метою проведених досліджень є наукове обґрунтування технологічних параметрів процесу попередньої активації дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, у якості поживного середовища запропоновано суху картопляну добавку (СКД).

Виклад основного матеріалу дослідження. Активацію дріжджів розглядають як стадію адаптації дріжджових клітин до анаеробного мальтозно-борошняного середовища, а також відновлення їх життєдіяльності, поліпшення біотехнологічних властивостей, що призводить до інтенсифікації технологічного процесу та покращення якості дріжджових виробів [11].

Швидкість і направленість біохімічних реакцій, що викликаються дріжджовими клітинами, піддаються адаптивному регулюванню. Змінюючи склад поживного середовища і концентрацію розчинних речовин, можна забезпечити підтримання структури і функції ферментів з регуляцією їх активності [11].

Відомо, що для швидкої адаптації дріжджових клітин до борошняного тіста доречно використовувати рідкі поживні середовища, які містять у своєму складі вуглеводи, воду, азот, біогенні та олігобіогенні речовини, вітаміни тощо. Наявність поживних речовин у середовищі активації та їх доступність для споживання дріжджовими клітинами сприяють підвищенню енергії бродіння за рахунок перебудови енергетичного обміну з дихального на бродильний.

Враховуючи дані попередніх досліджень способів активації дріжджів [7, 8] та власні дослідження процесу набрякання СКД у воді, поєднання компонентів проводили при гідромодулі 1:5, що забезпечило рівномірний розподіл дріжджових клітин та поживного середовища в суспензії.

Параметри активації дріжджів обирали, спираючись на дані літературних джерел [2, 11]: температура від 20 до 40 °C, тривалість — $(10...30) \cdot 60$ с.

В якості пріоритетних показників було обрано підйомну силу та осмочутливість дріжджів.

Для визначення оптимальних параметрів процесу попередньої активації дріжджів (ПАД) був застосований метод планування експерименту.

Процес ПАД характеризується наступними параметрами:

x_1 — температура, °C;

x_2 — тривалість активації, $t \cdot 60$ с.

В якості функцій відклику, що характеризують ступінь максимального розпушення тіста, прийнято:

- Y_1 — підйомна сила дріжджів, $t=60$ с;
- Y_2 — осмочутливість дріжджів, $t=60$ с.

Планування експерименту виконано за ортогональним симетричним планом Бокса-Бенкіна. Всі фактори експерименту варіювалися на верхньому («+») та нижньому («-») рівнях, значення яких були обрані по результатах попередніх експериментів. Було використано повний двофакторний експеримент з рівнями варіювання $-1; 0; +1$ [12].

В табл. 1 наведено умови проведення повного двофакторного експерименту.

Таблиця 1 — Рівні та інтервали факторів модифікації

Рівні	Фактори	
	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Тривалість обробки $t=60, \text{c}$
	x_1	x_2
Основний (x_{i0})	30	20
Інтервал варіювання (Dx)	10	10
Верхній ($x_{i\max}$)	40	30
Нижній ($x_{i\min}$)	20	10

В табл. 2 наведено схему розробки експериментальних розробок.

Таблиця 2 — Матриця планування експерименту

j	Значення фактора					$x_1 x_2$	$x_1^2 - I_2$	$x_2^2 - I_2$
	натуральні		кодовані					
	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau \times 60, \text{c}$	x_0	x_1	x_2			
1	20	10	+1	-1	-1	+1	0,33	0,33
2	40	10	+1	+1	-1	-1	0,33	0,33
3	20	30	+1	-1	+1	-1	0,33	0,33
4	40	30	+1	+1	+1	+1	0,33	0,33
5	20	20	+1	-1	0	0	0,33	0,67
6	40	20	+1	+1	0	0	0,33	0,67
7	30	10	+1	0	-1	0	-0,67	0,33
8	30	30	+1	0	+1	0	-0,67	0,33
9	30	20	+1	0	0	0	-0,67	0,67
$\sum_{u=1}^N x$	—	—	9	6	6	4	2	2

Математична модель поверхності намовлення має вигляд:

$$\bar{Y}_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 (x_1^2 - \lambda_2) + b_5 (x_2^2 - \lambda_2), \quad (1)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ — коефіцієнти поліному:

$$b_i = \frac{\sum_{U=1}^N x_{iU} Y_U}{\sum_{U=1}^N x_{iU}^2}. \quad (2)$$

Після отримання коефіцієнтів поліномних розраховуємо алгебраїчну модифікацію поверхності відклику у відносних змінних.

Відносні змінні перераховуються на натуральні за формулою:

$$x = \frac{X_i - x_{i0}}{x_i}. \quad (3)$$

Для оцінки адекватності регресії використано критерій Фішера:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_e^2} \leq F_{0,95(7;5)}^{табл}, \quad (4)$$

де S_{ad}^2 — дисперсія адекватності; S_e^2 — дисперсія повторюваності; $F_{0,95(7;5)}^{табл}$ — табличне значення F-розподілу, $F_{0,95(7;5)}^{табл} = 4,87$.

На першому етапі досліджували вплив температури та тривалості попередньої активації дріжджів на підйомну силу.

Здатність дріжджів зброджувати глюкозу та фруктозу виявляють за показником підйомної сили дріжджів та мальтазної активності. За показником підйомної сили дріжджів можна зробити висновок про швидкість підйому тіста (для дріжджів з нормальною підйомною силою цей показник не повинен перевищувати 70·60 с) [11].

Результати експерименту по визначенню підйомної сили, вираженої в хвилинах, представлено в табл. 3.

Таблиця 3 — Результати експерименту по визначенню підйомної сили

j	Фактори			Y _{1;1}	Y _{1;2}	Y _{1;3}	Y _{1;4}	Y _{1;5}	Y _{1;cp}
	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂						
1	-1	-1	1	58,1	58,6	54,6	57,4	59,1	57,6
2	+1	-1	-1	47,8	46,3	48,3	51,1	45,6	47,8
3	-1	+1	-1	55,4	54,3	56	56	53,4	55,0
4	+1	+1	1	51	49,9	49,6	53,3	52,1	51,2
5	-1	0	0	57,7	56,8	56,3	55,3	57	56,6
6	+1	0	0	49	48,4	47,9	48,3	48,4	48,4
7	0	-1	0	45,5	46	43	47,4	44,3	45,2
8	0	+1	0	42,8	42,2	44,8	43,4	43,1	43,3
9	0	0	0	42,7	42,2	42,7	41,1	42,6	42,3

Після перетворень в натуральних змінних поліном має вигляд:

$$Y_1 = 149,41 - 6,17x_1 - 0,83x_2 + 0,01x_1x_2 + 0,09x_1^2 - 0,01x_2^2.$$

Розрахунок критерію Фішера наведено в табл. 4.

Таблиця 4 — Розрахунок критерію Фішера

j	Фактори			Y _{1;cp}	Y Y ₁	S _{ad} ²	S _b ²
	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂				
1	-1	-1	1	57,56	58,38	1,10*10 ⁻¹	0,835467
2	+1	-1	-1	47,82	48,16	1,90*10 ⁻²	1,2152
3	-1	+1	-1	55,02	55,04	5,60	0,3472
4	+1	+1	1	51,18	50,72	3,50*10 ⁻²	0,633867
5	-1	0	0	56,62	55,79	1,15*10 ⁻¹	0,212533
6	+1	0	0	48,40	48,52	2,40*10 ⁻³	0,041333
7	0	-1	0	45,24	44,09	2,21*10 ⁻¹	0,747467
8	0	+1	0	43,26	43,70	3,22*10 ⁻²	0,250133
9	0	0	0	42,26	42,97	8,48*10 ⁻²	0,123467
-	-	-	-	-	-	6,21*10 ⁻¹	—
$F = \frac{S_{ad}^2}{S_b^2}$						0,14	

Критерій Фішера для отриманої математичної моделі $F = 0,141 \leq 4,87$, що свідчить про адекватність отриманої регресії. Поверхню відгуку підйомної сили дріжджів від тем-

ператури та тривалості активації наведено на рис. 1. Дані наведені з урахуванням похибки експерименту. Дані рис. 1 свідчать, що процес ПАД сприяє покращенню підйомної сили дріжджів — при підвищенні температури до 40 °С відбувається зниження досліджуваного показника на 6%. Тривалість попередньої активації досягає свого максимального значення вже після 20·60 с та з часом обробки майже не змінюється. Отже, показник підйомної сили досягає порогового значення при даних параметрах активації при досягненні потрібної температури (30...35 °С).

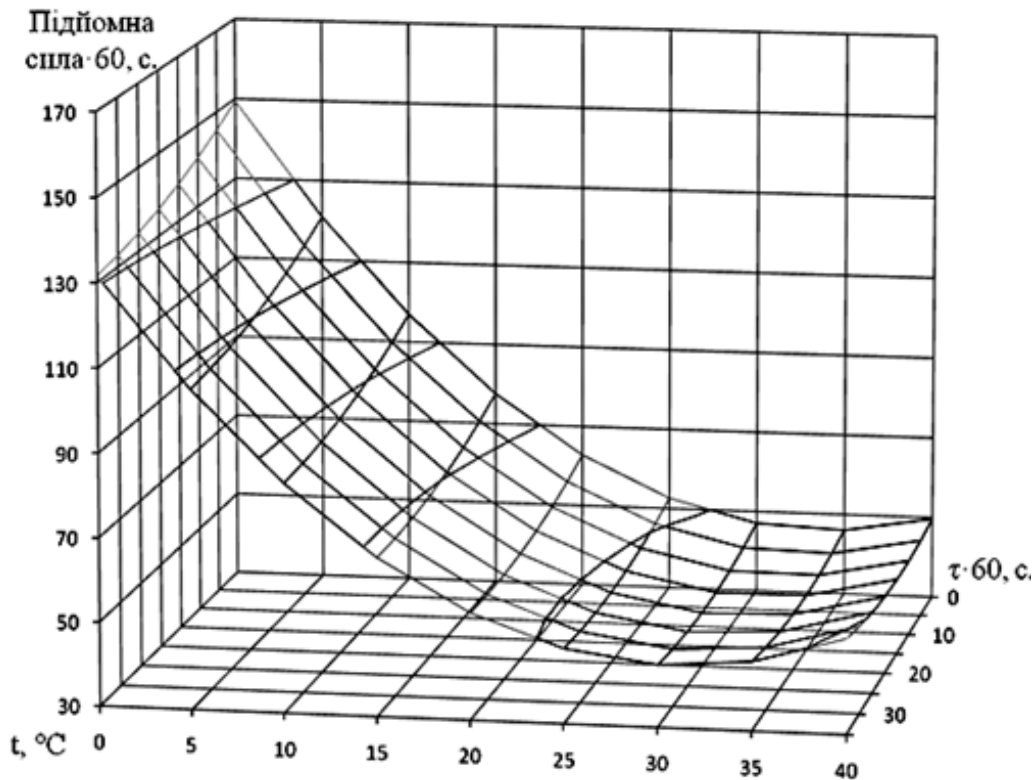


Рисунок 1 — Залежність підйомної сили від температури та тривалості попередньої активації дріжджів

Аналізуючи отриману залежність, можна зробити висновок, що підйомна сила досягає значення, що відповідає порогу максимальної розпушеності тіста при параметрах температури близько 30 °С. Однак, зважаючи на те, що процес ПАД не використовують при виробництві дріжджового тіста за традиційною технологією, виявляється більш доцільно рівнятися на підйомну силу дріжджів тіста зробленого традиційним способом, тобто контролю. Значення підйомної сили дріжджів тіста, виготовленого за традиційною технологією, досягають свого піку значно пізніше. Таким чином, вищезазначені дані свідчать про те, що температура більша за 35 °С є граничною для проведення процесу ПАД, а показники підйомної сили досягають оптимального значення вже після 20·60 с.

На другому етапі було проведено дослідження щодо впливу температури та тривалості активації на осмочутливість дріжджів. В технологічній практиці осмочутливість дріжджів показує їх властивість не знижувати свою ферментативну активність у середовищі з підвищеним осмотичним тиском. Різниця у підйомній силі дріжджів залежно від осмотичного тиску середовища виражається в хвилинах та розглядається як непрямий показник стійкості дріжджів. Дріжджі з осмочутливістю (1...10)·60 с вважаються стійкими при зберіганні та характеризуються доброю осмочутливістю, (10...20)·60 с — задовільною, вище 20·60 с — поганою [11]. Авторами даної статті було проведено дослідження по визначенню осмочутливості дріжджів для контрольного зразка та повного ряду модельних зразків; результати експерименту представлено в табл. 5. Розрахунок критерію Фішера наведено в табл. 6.

Таблиця 5 — Результати експерименту по визначенню осмочутливості дріжджів

j	Фактори			Y _{1;1}	Y _{1;2}	Y _{1;3}	Y _{1;4}	Y _{1;5}	Y _{1;cp}
	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂						
1	-1	-1	1	13,9	14,7	14,2	14,5	13,8	14,2
2	+1	-1	-1	9,3	9,5	9,3	9,4	9,4	9,4
3	-1	+1	-1	13,4	12,9	13,8	13,1	13,5	13,3
4	+1	+1	1	9,1	9	9,8	9,1	9,7	9,3
5	-1	0	0	12,7	13,3	13,2	12,8	13,4	13,1
6	+1	0	0	8,7	9,2	8,7	8,9	8,7	8,8
7	0	-1	0	8,1	7,9	8,1	8	8,4	8,1
8	0	+1	0	8,5	8,4	8	8,4	8,6	8,4
9	0	0	0	8,2	8,5	8,1	8,1	8,1	8,2

Таблиця 6 — Розрахунок критерію Фішера

j	Фактори			Y _{1;cp}	Ȳ ₁	S _{ad} ²	S _b ²
	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂				
1	-1	-1	1	14,22	14,00	7,82*10 ⁻³	0,0392
2	+1	-1	-1	9,38	9,22	4,09*10 ⁻³	0,001867
3	-1	+1	-1	13,34	13,37	1,50*10 ⁻⁴	0,0328
4	+1	+1	1	9,34	9,43	1,35*10 ⁻³	0,038133
5	-1	0	0	13,08	13,27	5,80*10 ⁻³	0,025867
6	+1	0	0	8,84	8,91	7,40*10 ⁻⁴	0,0128
7	0	-1	0	8,10	8,47	2,32*10 ⁻²	0,009333
8	0	+1	0	8,38	8,26	2,40*10 ⁻³	0,013867
9	0	0	0	8,20	7,95	1,06*10 ⁻²	0,008
-	-	-	-	-	-	5,62*10 ⁻²	0,181867
$F = \frac{S_{ad}^2}{S_b^2}$						0,31	

Після перетворень в натуральних змінних поліном має вигляд:

$$Y_2 = 45,90 - 2,14x_1 - 0,24x_2 + 0,002x_1x_2 + 0,03x_1^2 + 0,004x_2^2.$$

Критерій Фішера для отриманої математичної моделі $F=0,31 \leq 4,87$, що свідчить про адекватність отриманої регресії.

Поверхню відгуку осмочутливості дріжджів від температури та тривалості активації наведено на рис. 2. Дані наведені з урахуванням похибки експерименту.

Як можна бачити з рис. 2 підвищення температури вище 35 °C погіршує показник осмочутливості дріжджів та наближає їх характеристику до задовільної. З часом обробки показник осмочутливості майже не змінюється, але проведення процесу ПАД тривалістю понад 20·60 с вважається неефективним з точки зору витрат часу.

Таким чином, осмочутливість дріжджів досягає значення, що відповідає порогу максимального розпушення тіста при температурі близько 30 °C та тривалістю обробки не більше 20·60 с.

Однак, зважаючи на те, що процес ПАД не використовують при виробництві дріжджового тіста за традиційною технологією, виявляється доцільним рівнятися на осмочутливість дріжджів тіста, виготовленого традиційним способом, тобто контролю. Ступінь осмочутливості дріжджів тіста, виготовленого за традиційною технологією, на 5–8 % гірша за досліджувані зразки.

Таким чином, температура 35 °C є граничною для проведення процесу ПАД, а тривалість обробки довша за 20·60 с є недоцільною.

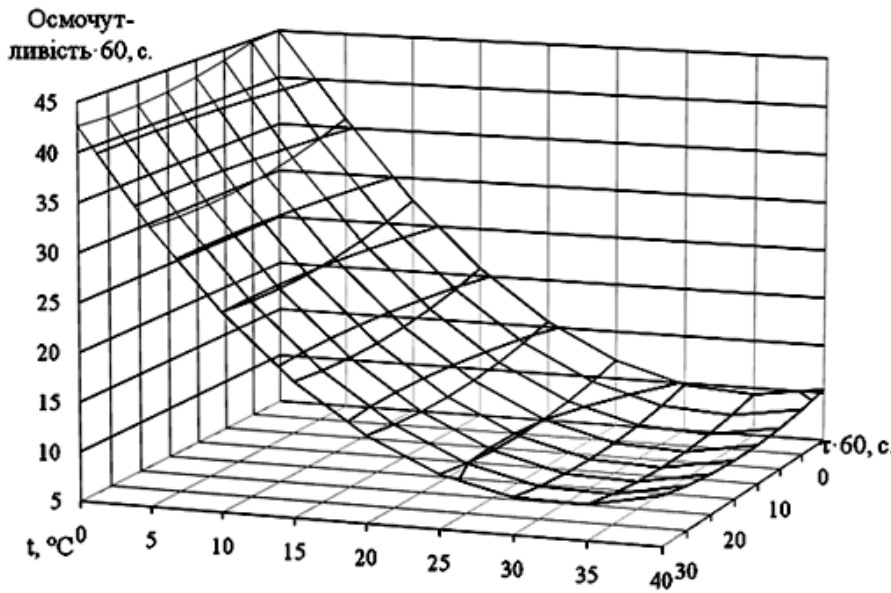


Рисунок 2 — Залежність осмочутливості від температури та тривалості попередньої активації дріжджів

На третьому етапі було проведено дослідження з визначення оптимальних параметрів попередньої активації дріжджів.

З метою математичного обґрунтування оптимальної температури та тривалості ПАД використовували спосіб рішення компромісних задач багатопараметричної оптимізації методом сполучених градієнтів. Для обчислення авторами даної статті була використана надбудова «Пошук рішень» пакету MS Excel.

Метод полягає в обиранні цільової функції, лімітованої до встановленого значення, та описі обмежень з системи рівнянь.

Процес попередньої активації дріжджів залежить від параметрів:

- X_1 — температура, °C;
- X_2 — тривалість активації, $t \cdot 60$ с.

В якості цільової функції обрано підйомну силу, як найбільш важливу функціонально-технологічну властивість дріжджів.

Бажано, щоб підйомна сила була якомога швидшою, тому цільову функцію лімітовано до її мінімально допустимого значення:

$$\lim_{X_1, X_2 \rightarrow 0} Y_1(X_1; X_2) \rightarrow \min. \tag{5}$$

В якості функцій, що характеризують обмеження процесу обробки, прийняті: $Y_2(X_1; X_2)$ — осмочутливість:

$$Y_{21}(X_1; X_2) \leq 10. \tag{6}$$

Всі обмеження обрано таким чином, щоб продукт отриманий по знайдених оптимальних параметрах, що характеризують ефективність ПАД, перевищував контрольний зразок, виготовлений за традиційною технологією.

При розрахунках допущена відносна погрішність $1 \cdot 10^{-6}$, допустиме відхилення 5%. Оптимізацію виконували методом сполучених градієнтів. В ході проведеного розрахунку отримані наступні результати (табл. 7).

Таблиця 7 — Параметри оптимізації

Ім'я	Змінні		Цільова функція	
	X_1	X_2	$Y_2(X_1; X_2)$	
Значення	32,7	18,9	40,7 → min	
	Обмеження			
$Y_2(X_1; X_2) =$	6,130		<=	10

Таким чином, знайдене рішення відповідає всім вимогам. При даних параметрах з допустимим відхиленням 5 %, дріжджовий напівфабрикат має мінімально можливу підйомну силу дріжджів та переважає контроль за всіма параметрами. Оптимальними параметрами ПАД є: температура 30...35 °С; тривалість процесу складає (18...20)·60 с.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Підйомна сила досягає значення, що відповідає порогу максимальної розпушеності тіста при параметрах температури близько 30 °С, оптимальна зона тривалості припадає на (17...25)·60 с.

2. Для показників осмочутливості встановлено, що температура 35 °С є граничною для проведення процесу ПАД, а тривалість обробки довшо за 20·60 с є недоцільною.

3. Для проведення математичного обґрунтування оптимальної температури та тривалості ПАД використовували спосіб рішення компромісних задач багатопараметричної оптимізації методом сполучених градієнтів. Після проведення математичних обчислень було знайдено оптимальні параметри процесу ПАД: температура — 30...35 °С; тривалість процесу — (18...20)·60 с.

Список літератури

1. Hammond J. Yeast growth and nutrition. *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Oxford, UK: Oxford Brookes University Press, 2000. P. 77–85.

2. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва. К. : Техніка, 2006. 408 с.

3. Никифоров Р. П., Сабіров О. В. Розробка технології прісного листкового напівфабрикату на основі молочної сироватки. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2015. № 3/3 (23). С. 37–41. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.44154>.

4. Лебеденко Т. Е., Каминский А. Я., Щелакова Р. П., Соколова Н. Ю. Современные подходы к выбору способа приготовления пшеничного хлеба. *Пищевая наука и технология*. 2010. № 1 (10). С. 46–52.

5. Півоваров О. А., Миколенко С. Ю., Тищенко Г. П. Мікроструктурні особливості тіста на основі розчинів, підданих дії контактної нерівноважної плазми. *Харчова наука і технологія*. 2012. № 1 (18). С. 67–70.

6. Дробот В. І., Басок Б. І., Ободович М. О., Семенко О. Ю. Спосіб активації пресованих хлібопекарських дріжджів: Пат. 54219 Україна, МПК С 12 N 1/18 ; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій (Україна). № 2002064865; заявл. 13.08.2002; опубл. 17.02.2003, Бюл. № 2. 8 с.

7. Козлова С. Г., Лисюк Г. М., Самохвалова О. В., Гвоздяк Р. І., Воцелко С. К. Спосіб виробництва дріжджового тіста: Пат. 35433 Україна, МПК А 21 D 8/00, 8/02 ; заявник та патентовласник Харківська державна академія технологій та організації харчування (Україна). № 99105595; заявл. 13.10.1999; опубл. 15.03.2001, Бюл. № 2. 3 с.

8. Сафонова О. М., Гавриш Т. В., Перцевий Ф. В., Панченко І. А. Спосіб одержання дріжджового тіста: Пат. 50178 Україна, МПК А 21 D 8/02 ; заявник та патентовласник Сафонова О. М., Гавриш Т. В., Перцевий Ф. В., Панченко І. А. (Україна). № 2001117630; заявл. 08.11.2001; опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10. 2 с.

9. Пашенко Л. П. Биотехнологические основы производства хлебобулочных изделий. М. : Колос, 2002. 368 с.

10. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.

References

1. Hammond, J. (2000). Yeast growth and nutrition. *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Oxford, UK : Oxford Brookes University Press, p. 77–85.

2. Drobot, V. I. (2006). *Tekhnolohiia khlibopekarskoho vyrobnytstva* [Technology of bakery production]. Kyiv, Tekhnika Publ., 408.

3. Nykyforov, R., Sabirov, O. (2015). *Rozrobka tehnologiyi prisnogo listkovogo napivyfabrikatu na osnovi molochnoyi sirovatki* [Process design of unfermented puff semi-finished products based

on milk whey]. *Tehnologichniy audit ta rezervi virobnitstva* [Technology Audit And Production Reserves], 3(3(23)), p. 37–41. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.44154>.

4. Lebedenko, T. E., Kaminskii, A. Ya., Shchelakova, R. P., Sokolova, N. Yu. (2010). *Sovremennyye podhody k vyboru sposoba prigotovleniia pshenichnogo hleba* [Modern approaches to choosing a method of making wheat bread]. *Pishchevaia nauka i tehnologiya* [Food Science and Technology], no. 1 (10), pp. 46–52.

5. Pivovarov, O. A., Mykolenko, S. Yu., Tyshchenko, H. P. (2012). *Mikrostrukturni osoblyvosti tista na osnovi rozchyniv, pidanykh dii kontaktnoi nerivnovazhnoi plazmy* [Microstructural features of the dough based on solutions exposed to contact nonequilibrium plasma]. *Kharchova nauka i tekhnologiya* [Food science and technology], no. 1 (18), pp. 67–70.

6. Drobot, V. I., Basok, B. I., Obodovych, M. O., Semenko, O. Yu.; assignee: National University of Food Technologies (Ukraine). (17.02.2003). *Sposib aktyvatsii presovanykh khlibopekarskykh drizhdzhiv*. Patent of Ukraine № 54219, MPK S 12 N 1/18. Appl. № 2002064865. Filed 13.08.2002. Bull. № 2, 8.

7. Kozlova, S. H., Lysiuk, H. M., Samokhvalova, O. V., Hvozdiak, R. I., Votselko, S. K.; assignee: Kharkiv State Academy of Technology and Organization of Nutrition (Ukraine). (15.03.2001). *Sposib vyrobnytstva drizhdzhovoho tista*. Patent of Ukraine № 35433, MPK A 21 D 8/00, 8/02. Appl. № 99105595. Filed 13.10.1999. Bull. № 2, 3.

8. Safonova, O. M., Havrysh, T. V., Pertsevyi, F. V., Panchenko, I. A. (15.10.2002). *Sposib oderzhannia drizhdzhovoho tista*. Patent of Ukraine № 50178, MPK A 21 D 8/02. Appl. № 2001117630. Filed 08.11.2001. Bull. № 10, 2.

9. Pashchenko, L. P. (2002). *Biotehnologicheskie osnovy proizvodstva hlebobulochnykh izdelii* [Biotechnological bases of bakery products production]. Moscow, Kolos Publ., 368 p.

10. Kobzar, A. I. (2006). *Prikladnaia matematicheskaia statistika. Dlia inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied mathematical statistics. For engineers and researchers]. Moscow, FIZMATLIT, 816.

Objective. *The aim of the study is to show the technological tendencies of the process of pre-activation of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, as a nutrient medium, the addition of dried potatoes is recommended.*

Methods. *This article presents a mathematical calculation of lift force and osmosensitivity of yeast cells depending on the temperature and duration of the pre-activation of yeast. The main aim of the research was the study of the activation process of yeast (*Saccharomyces cerevisia*) in a medium consisting of water and dry additives derived from by-products of processing potatoes. The investigations have been used model systems of yeast-fermented dough. Design of the experiment was carried out according to an orthogonal symmetrical Box-Behnken design.*

From previous studies it was found that the resulting additive improves the performance of enzyme activity, which ultimately promotes intensification of dough formation process.

The results can be used in bakeries to intensify the production process of yeast-fermented dough products.

Results. *Installed: lifting reaches a value indicating the largest threshold of sagging dough with a temperature parameter of about 30 °C. The optimal time interval (17...25) (60 seconds; with regard to the permeability sensitivity index, it was found that the temperature of 35 is the limit for starting the process of PAD, and the procedure time of more than 20–60 seconds is not suitable; to implement the mathematical proof of the average temperature and time of the PAD, a method was used to solve the compromise problem of multiparameter optimality of the composite gradient method. After performing algebraic calculations, the average indicators of the PAD process were found: temperature — 30 ... 35 °C; processing time — (18...20) · 60 seconds.*

Key words: *dry potato additive, pre-activation of the yeast, lift force of the yeast, osmosensitivity.*

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-71-78
УДК 664.314

Краєвська С. П., здобувач¹
Піддубний В. А., д-р техн. наук, професор¹
Веселовська Т. Є., канд. техн. наук, доцент²
Стадник І. Я., д-р техн. наук, професор³
Боднарук О. А., асистент⁴

- 1 Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна, e-mail: a.poddubnaya@i.ua.
- 2 Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Охієнка, Україна, e-mail: kveta_tei@ukr.net.
- 3 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, e-mail: igorstadnykk@gmail.com.
- 4 Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: bodnaruk@donnuet.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ, ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ПАРАМЕТРІВ ЕКСТРАГУВАННЯ СЛИЗОУТВОРЮЮЧИХ ПОЛІСАХАРИДІВ НАСІННЯ ЛЬОНУ

UDK 664.314

Kraevska S. P., applicant¹
*Piddubnyi V. A., Grand PhD of Engineering Science,
Professor¹*
*Veselovska T. Ye., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor²*
*Stadnyk I. Ya., Grand PhD of Engineering Science,
Professor³*
Bodnaruk O. A., Assistant Professor⁴

- 1 Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv , Ukraine, e-mail: a.poddubnaya@i.ua.
- 2 Kamianets-Podilskyi Ivan Ohiienko National University, Ukraine, e-mail: kveta_utei@ukr.net.
- 3 Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: igorstadnykk@gmail.com.
- 4 Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: bodnaruk@donnuet.edu.ua.

INVESTIGATION OF COMPOSITION, PROPERTIES AND EXTRACTION PARAMETERS OF FLAX SEEDS MUCOUS-FORMING POLYSACCHARIDES

Мета – дослідження складу, властивостей та параметрів екстрагування слизоутворюючих полісахаридів насіння льону.

Методи. У дослідженнях використано насіння льону-довгуця сорту «Вручий» та олійного льону-кудряша сорту «Оригінал». Вибір проб насіння проводили згідно з ГОСТ 10852 (ГОСТ 10852-86, 2010). Для вилучення слизу ціле насіння льону гідрували протягом 3 год. у водопровідній воді, за гідромодулю 1 : 20 та за температури 18–20 °С при постійному перемішуванні магнітною мішалкою. До екстракції сировина не піддавалася ніякій попередній обробці. Отриману масу розливали по бюксах та висушували за температури 50 °С впродовж 10 год. у СЕШ-3. Висушений слиз відділяли від насіння шляхом протирання крізь сито № 40 з прохідним вічком сітки 0,42 мм. За допомогою віскозиметра Освальда проводилося вимірювання в'язкості отриманого розчину, а також визначався сухий залишок. Отриманий сухий залишок зважували і повторно розчиняли в об'ємі води рівному вихідному (взятому для екстракції).

Надійшла до редакції 12.10.2021 р. © С. П. Краєвська, В. А. Піддубний, Т. Є. Веселовська, Стадник І. Я., О. А. Боднарук, 2021

Встановлення особливостей хімічного складу слизу насіння льону здійснювали методом ІЧ-спектроскопії на Фур'є-спектроскопі *Perkin-Elmer Spectrum One FTIR Spectrometer* з використанням калія броміду в інтервалі коливань від 500 см^{-1} до 4000 см^{-1} . Запис спектрів дослідних зразків здійснювали в тонкому шарі між пластинами із селенідом цинку.

Динаміку гідратації насіння льону оцінювали на мікроскопі *Bresser Biolux LCD 50x-2000x* за збільшення $\times 300$ разів. Здатність насіння льону до утримування води встановлювали за її кількістю, що утрималася зразком після настоювання і центрифугування відповідної суспензії. Співвідношення «насіння льону : вода» в суспензії становило 1:10. Значення показника визначали у відсотках за відношенням різниці між використаною кількістю води та масою отриманого фугату до маси наважки.

Результати. Визначено вплив параметрів екстрагування на кількісний вихід слизоутворюючих полісахаридів. Дано характеристику якісного складу та кількісного вмісту слизу в насінні льону. Визначено вплив параметрів температури та тривалості екстрагування на вихід слизоутворюючих полісахаридів у водному розчині. Запропоновано технологію сухої добавки з насіння льону з драглеутворюючими властивостями. Дано аналіз суміші водорозчинних полісахаридів та фракцій. Визначено склад хімічних сполук моносахаридів слизової речовини льняного насіння.

Ключові слова: насіння льону, некрохмальні полісахариди, слизи, екстрагування, суха драглеутворююча добавка.

Постановка проблеми. Загальновідомим є факт, що стан харчування є одним з найважливіших чинників, що визначають здоров'я нації [1]. Медичні дослідження свідчать про тісний зв'язок харчування з найбільш поширеними захворюваннями, що прямо корелює з надмірним надходженням енергії за рахунок жирів, простих вуглеводів на фоні зменшення вживання вітамінів, мінеральних речовин та харчових волокон (некрохмальних полісахаридів) [2]. Збагачення раціонів розчинними харчовими волокнами має позитивний вплив на показники вуглеводного і ліпідного обмінів [3]. Полісахариди не крохмальної природи відіграють важливу роль як у профілактиці, так і у корекції низки суспільно-значущих захворювань, перш за все, серцево-судинних хвороб, ожиріння, діабету та кишкових дисбіозів [4]. Доведено, що регулярне споживання некрохмальних полісахаридів забезпечує зниження вірогідності розвитку колоректального раку та передракових процесів у кишечнику та молочній залозі [5]. Ряд полісахаридів за фармакологічною ефективністю (сорбція важких металів, нормалізація рівня сироваткових ліпідів, імуномодуюча дія) більш дієві за лікарські препарати, особливо з урахуванням їх безпечності та натуральності [6].

Виходячи з вищевикладеного, проблема раціонального використання рослинної сировини, яка є джерелом некрохмальних полісахаридів, є актуальною та потребує вирішення. Вважаємо, що дослідження, спрямовані на більш глибоке вивчення складу та властивостей насіння льону, яке потенційно може бути додатковим джерелом некрохмальних полісахаридів у харчуванні людини, є перспективним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сьогодні льонарство в Україні розвивається достатньо стрімкими темпами [7], і, як правило, для харчових цілей використовують або ціле насіння, або лляну олію, або лляну клітковину. Насіння льону містить олію (30–48%), до складу якого входять гліцериди кислот ліноленової (35–40%), лінолевої (25–35%), олеїнової (15–20), пальмітинової та стеаринової, а також слизи (до 12 %), глікозид лінамарин, кислоти органічні, ферменти, вітаміни А та Е. Слизові полісахариди льону мають обволікаючу, протизапальну та легку проносну дію, покриваючи тонким шаром слизові оболонки шлунково-кишкового тракту та запобігають їх подразненню та запаленню, лігнани мають антибактеріальні й противірусні властивості. Однак, аналіз наукової літератури показав, що кількість наукових досліджень щодо полісахаридів насіння льону є дуже обмеженою. Тобто визначення шляхів використання некрохмальних полісахаридів льону, особливо слизових, потребує подальшого розвитку.

Враховуючи дані авторів та їх визначення [4, 8], слизи – це суміші гомо- і гетерополісахаридів та поліуронідів, які легко набухають у воді. Слизи насіння льону адсорбу-

ють макро- і мікроелементи, а саме: калій, кальцій, магній, залізо, мідь, цинк, марганець, хром, алюміній, селен, нікель, йод, свинець, бор. Згідно з [9] слизіві речовини насіння льону містять волокнисті матеріали (діаметром 18...45 нм, які розтягуються у присутності води, з'єднуються з такими ж волокнами насіння, що знаходиться поблизу (рис. 1). Гідрофільні угруповання молекул слизивих речовин утримують воду в середині комірок цієї сітки, при цьому створюється ефект «заморожування». За різними інформаційними даними [8, 9] насіння льону здатне утримувати воду у кратності від 7 до 27 од. по відношенню до своєї маси. Зазначене є передумовою використання насіння льону не лише як збагачувача, а й для регулювання технологічних характеристик харчової продукції.

Метою статті є дослідження складу, властивостей та параметрів екстрагування слизоутворюючих полісахаридів насіння льону.

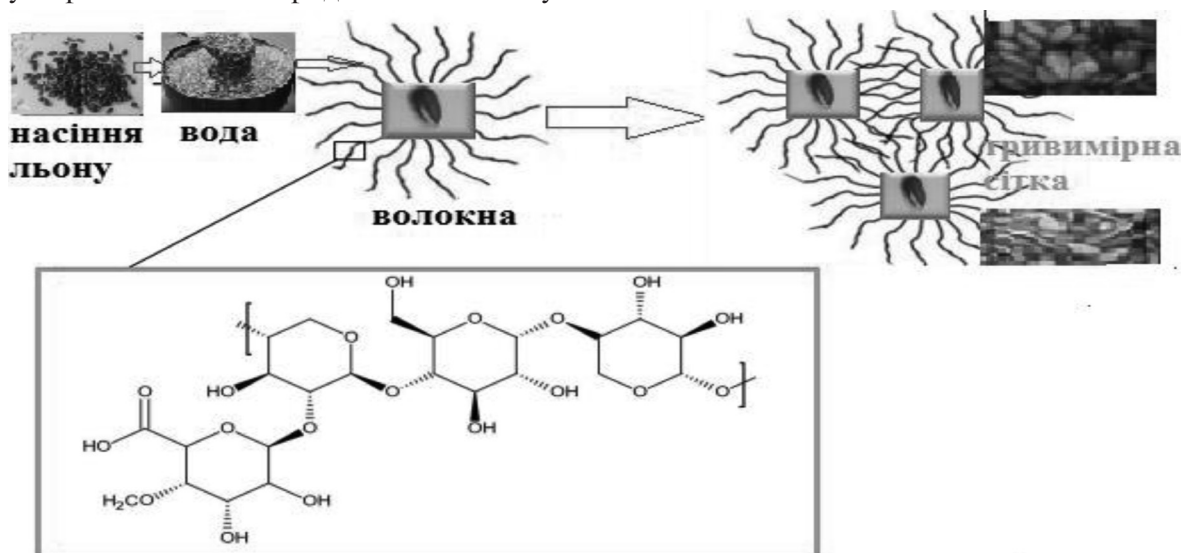


Рисунок 1 – Сучасні уявлення щодо механізму драглеутворення слизивих речовин насіння льону

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досліджень використовували насіння льону-довгунця сорту «Вручий» та олійного льону-кудряша сорту «Оригінал». В попередніх дослідженнях було [10] встановлено, що ці сорти відрізняються найкращим біохімічним складом і є перспективною сировиною у виробництві дієтичних добавок, оздоровчих та функціональних харчових продуктів.

Свої дослідження ми спрямували на встановлення відповідних впливових параметрів при екстрагуванні слизивих полісахаридів насіння льону, щоб в подальшому мати можливість їх використовувати в харчовій та фармацевтичній промисловості. Нами встановлено, що при контакті з водою насіння льону «Оригінал» і «Вручний» відразу почали її поглинати. При цьому молекули води проникали крізь пори оболонки. Проникнувши, молекули води затримувалися у міжклітинних та вільних капілярних просторах. Ступінь набрякання (рис. 2) спостерігали візуально за допомогою мікроскопу.

Встановлено, що низькомолекулярні фракції полісахаридів гідратуються на поверхні оболонки при контакту насіння льону з водою протягом декількох секунд. При гідратації проходить утворення в'язких розчинів. Через кілька хвилин в гідратований стан починають переходити більш високомолекулярні полісахариди.

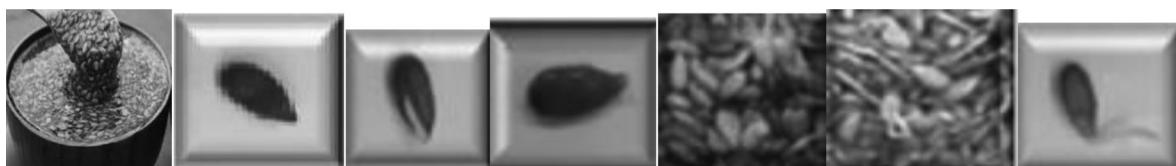


Рисунок 2 – Особливості початкової динаміки гідратації слизоутворюючих полісахаридів у насінні льону за різної тривалості контакту з водою ($\times 300$)

Як екстрагент використовували водопровідну воду, оскільки з літературних джерел відомо, що слизові полісахариди льону є водорозчинними, а вода – це найдешевший природний екстрагент для отримання продукту харчового призначення.

Дійсно, авторами подано і розкрито в роботі [11] те, що молекули одночасно вступають у взаємодію з білками та іншими некрохмальними полісахаридами насіння. Нерозчинна фракція некрохмальних полісахаридів насіння льону становить 20-22 % його маси і складається переважно з целюлози, незначної кількості лігніну та геміцелюлоз. При цьому целюлоза характеризується великою кількістю гідроксильних груп та розвинутою системою тонких субмікроскопічних капілярів, що визначає її високі водоутримуючі властивості.

Розчинні некрохмальні полісахариди насіння льону представлені слизовими речовинами (4-6 % від маси насіння), які добре гідратуються в холодній воді з утворенням рухомого гелю. Утворений гель згідно досліджень [11] спочатку локалізується в клітинних структурах перших трьох шарів оболонки насіння. Вже через 1 хв. гідратації гель крізь мікроскопічні отвори в насінній шкірці виходить за межі насіння і стає видимим. Причому проходить утворення навколо нього прозорої капсули з достатньо чіткою межею розподілу фаз (рис. 3). Збільшення товщини гелевої капсули відбувається за умов контакту насіння з водою до 10 хв. При продовженні процесу замочування насіння до 25 хв., розмір капсули не змінюється. Це свідчить про завершення процесу гідратації.

На рис. 3 фракцію слизу можна спостерігати у вигляді напівпрозорих петлеподібних тяжів (на мікрознімках – світлих плям). Ці тяжі поступово збільшуються за розмірами і займають всю первинну зону ослизнення. Зона була раніше сформована навколо оболон-

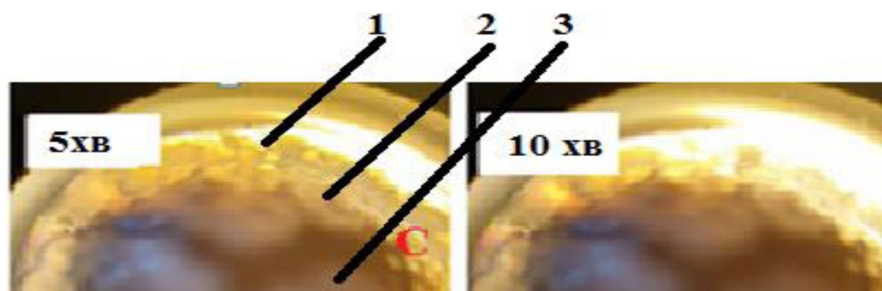


Рисунок 3 — Стан динаміки гідратації слизоутворюючих полісахаридів у насінні льону за різної тривалості контакту з водою ($\times 300$)

ки насіння льону фракцією швидко гідратуючих полісахаридів. Полісахаридна природа утворення слизу підтверджується якісною реакцією на додавання слабого водного розчину метиленової сині. Метиленова синь дає в присутності полісахаридів синьо-фіолетове забарвлення (на рис. 3 – темні пухкі утворення в зоні ослизнення). В цілому, гідратація насіння льону дозволило виділити кілька фракцій слизоутворюючих компонентів полісахаридної природи з неоднаковими фізико-хімічними властивостями, зокрема, з різною швидкістю гідратації. При цьому цілком очевидно, що найбільші технологічні проблеми при різних виробничих операціях з насінням льону створює самий низькомолекулярний слизоутворюючий компонент, який швидко гідратується навіть при незначному підвищенні вологості насіння.

Таким чином, на досліджуваних зразках насіння льону добре видно зміни розташування, інтенсивності і форми смуг основних функціональних груп, які характеризують білковий, вуглеводний і ліпідний комплекси. Періодичність процесів, що відбуваються відбивається на зміні інтенсивності основних смуг функціональних груп в залежності від тривалості гідратації, які представлені на рис. 4. При цьому інтенсивно протікають процеси розщеплення білкових і полісахаридних речовин.

Зміну інтенсивності основних смуг замоченого насіння льону характеризують функціональні групи білків, вуглеводів і ліпідів. Набухання, гідролітичні процеси, що протікають на стадіях екстрагування, сприяють збільшенню водорозчинних речовин. Аналіз су-

хого залишку водневого екстракту за тривалість гідратації насіння льону представлено на рис. 5. Аналіз отриманих даних свідчить, що різкого збільшення кількості водорозчинних речовин не спостерігається, а проходить плавне підвищення з незначними коливаннями. На 14 хв. було визначено максимальну кількість водорозчинних речовин в екстракті в дослідному періоді часу.



Рисунок 4 – Зміна інтенсивності основних смуг замоченого насіння льону

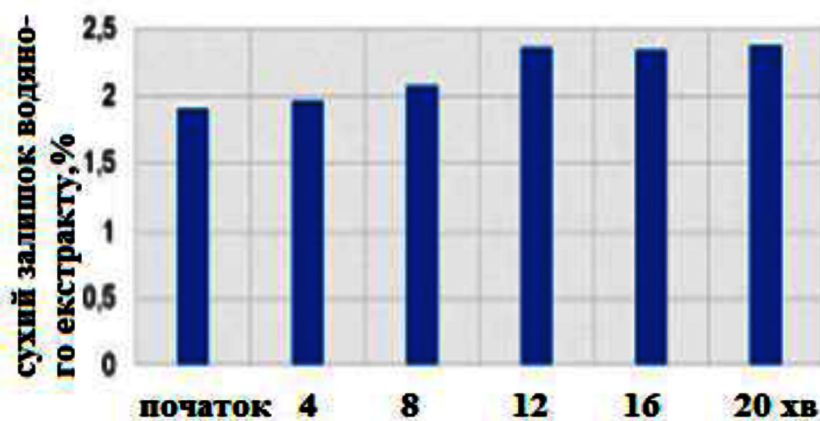


Рисунок 5 – Сухий залишок водяних екстрактів насіння льону при різних тривалостях, хв.

У мобілізації білкових резервів беруть участь численні ферментні системи, які різні відносно специфічності до субстрату. При обмеженому протеолізі запасних білків відбувається відщеплення (відділення) невеликого числа низькомолекулярних пептидів, після чого білки знову стають доступні дії протеолізу. При цьому слиз насіння льону представляє собою суміш водорозчинних полісахаридів, які включають, головним чином, L-лактозу, D-ксилозу, L-рамнозу і D-галактуранову кислоту. Полісахариди слизу утворюють дві основні фракції: нейтральну і кислу. Нейтральна фракція практично не містить галактуранову кислоту, основа цієї фракції – ксилоза. У кислої фракції переважає галактуранова кислота і виявлені залишки ксилози. Відносний вміст нейтральної фракції у складі полісахаридів слизу становить 75%.

У хімічному відношенні в слизу переважають пентозани (до 90%). З фізичних властивостей для слизу характерна його повна розчинність в воді. Слизові речовини льняного насіння є складні хімічні сполуки моносахаридів. Вони містять ланцюги з залишків D-галактуранової кислоти і L-рамнози, до яких приєднані бічні ланцюги із залишків 3-O-метил-D-галактози, D-галактози, L-рамнози, D-ксилози, 4-O-метил-D-глюкуронової кислоти. Співвідношення цих фракцій залежить від генотипу льону і багато в чому визначає властивості полісахаридів лляного слизу, в тому числі і реологічні.

У попередніх дослідженнях було вивчено вплив тривалості екстрагування на кількісний вихід слизоутворюючих полісахаридів та визначено, що раціональним часом екстрагування слизів водою є 90 хв., оскільки після цього часу спостерігалася рівновага та кількість екстрагованих слизів більше не змінювалася. Найбільш доцільною температурою води при екстракції 16–18°C, оскільки вплив температури є несуттєвим, тому немає сенсу витрачати ресурси на підвищення температури [11].

Можна відзначити, що навіть прості візуальні спостереження за динамікою слизоутворення при замочуванні насіння льону дозволяють виділити їх кілька фракцій компонентів полісахаридної природи. Ці фракції відзначаються неоднаковими фізико-хімічними властивостями, зокрема, різною швидкістю гідратації. При цьому цілком очевидно, що найбільші технологічні проблеми при різних виробничих операціях з насінням льону створює саме низькомолекулярний слизоутворюючий компонент. Він швидко гідратується навіть при незначному підвищенні вологості насіння. Тому всі слизоутворюючі компоненти при зволоженні насіння льону послідовно гідратуються і переходять в розчин, що вказує на поступове підвищення його концентрації.

Для отримання сухої добавки із драглеутворюючими властивостями ми пропонуємо наступний спосіб оброблення насіння льону: гідратація водою при кімнатній температурі та гідромодулі 1 : 3; відокремлення полісахаридів фільтруванням та промивання водою; обробка розчину етиловим спиртом (3–5-кратним об'ємом) для осадження полісахаридів; фільтрація або центрифугування; висушування полісахаридів; зберігання у волого- та світлозахисній упаковці.

Висновки. Для обґрунтування технології сухої драглеутворюючої добавки із насіння льону вивчено параметри та механізм гідратації некрахмальних полісахаридів. Гідратацію проводять водою при кімнатній температурі (16–18 °C) та гідромодулі 1 : 3 протягом 90 хв. Визначено, максимальна кількість інших водорозчинних речовин у водному екстракті спостерігається через 14 хв. та далі залишається без змін. Мікроскопічними дослідженнями встановлено, що низькомолекулярні фракції полісахаридів гідратуються на поверхні оболонки при контакті насіння льону з водою протягом декількох секунд, через кілька хвилин в гідратований стан починають переходити високомолекулярні полісахариди.

Список літератури

1. Смоляр В. І. Стан фактичного харчування населення незалежної України. *Проблеми харчування*. 2012. 1–2. С. 5–9. URL : http://medved.kiev.ua/web_journals/arhiv/nutrition/2012/1-2_12/str05.pdf.
2. Конь И. Я. Углеводы: новые взгляды на их физиологические функции и роль в питании. *Проблеми харчування*. 2007. 2 (15). С. 17–27.
3. Смоляр В. І. Проблеми вуглеводної толерантності в сучасній нутриціології. *Проблеми харчування*. 2012. 3–4. С. 5–11. URL : http://www.medved.kiev.ua/web_journals/arhiv/nutrition/2012/3-4_12/str05.pdf.
4. Imeson A. Food stabilisers, thickeners and gelling agents. Oxford, UK: WileyBlackwell, 2010. 260 p.
5. Сабат М. Я., Іскра Р. Я. Фруктани: хімічна структура, біологічні властивості та метаболізм кишковою мікрофлорою. *Біологічні студії*. 2016. Т. 10. №2. С. 203–214.
6. Хотимченко Р. Ю. Фармаконутрициология некрахмальных полисахаридов. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2015. № 2. С. 5–11.
7. Паливода О. М. Перспективи розвитку льонарства України на основі формування територіально-виробничих кластерів. *Легка промисловість*. 2009. №4. С. 29–31.
8. Толкачев О. Н., Жученко А. А. Биологически активные вещества льна: использование в медицине и питании. *Химико-фармацевтический журнал*. 2010. Т. 34. № 7. С. 23–30.
9. Пашенко Л. П., Прохорова А. С., Кобцева Я. Ю., Никитин И. А. Характеристика семян льна и их применение в производстве продуктов питания. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2004. № 7. С. 56–57.

10. Краєвська С. П., Стеценко Н. О., Бандуренко Г. М. Оцінювання якості білка насіння льону методом DIASS. *Зернові продукти і комбікорми*. 2018. Том 18. Ч. 3. С. 10–15. URL: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/gpmf/article/view/1073>.

11. Стеценко Н. О., Краєвська С. П. Характеристика комплексу слизоутворюючих полісахаридів, екстрагованих з насіння льону. *ΛΟΓΟΣ. Мистецтво наукової думки*. 2018. №1. С. 165–167. URL : <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2617-7064/article/view/100>.

References

1. Smolyar, V. I. (2012). *Stan faktichnogo harchuvannya naseleenny nezalezhnoyi Ukrayini* [The state of actual nutrition of the population of independent Ukraine]. *Problemi harchuvannya* [Nutrition problems], no. 1–2, pp. 5–9. Retrieved from http://medved.kiev.ua/web_journals/arhiv/nutrition/2012/1-2_12/str05.pdf.

2. Kon, I. Ya. (2007). *Uglevody: novyye vzglyady na ih fiziologicheskie funktsii i rol v pitanii* [Carbohydrates: new perspectives on their physiological functions and role in nutrition]. *Problemi harchuvannya* [Nutrition problems], no. 1–2, pp. 17–27.

3. Smolyar, V. I. (2012). *Problemi vuglevodnoyi tolerantnosti v suchasniy nutritsiologiyi* [Problems of carbohydrate tolerance in modern nutrition]. *Problemi harchuvannya* [Nutrition problems], no. 3–4, pp. 5–11. Retrieved from http://www.medved.kiev.ua/web_journals/arhiv/nutrition/2012/3-4_12/str05.pdf

4. Imeson, A. (2010). *Food stabilisers, thickeners and gelling agents*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 260 p.

5. Sabat, M. Ya., Iskra, R. (2016). Ya. *Fruktani: himichna struktura, biologichni vlastivosti ta metabolizm kishkovoyu mikrofloroyu* [Fructans: chemical structure, biological properties and metabolism by intestinal microflora], *Biologichni studiyi* [Biological studies], no. 10 (2), pp. 203–214.

6. Khotimchenko, R. Yu. (2015). *Farmakonutritsiologiya nekrakhmalnyih polisaharidov* [Pharmacology of non-starch polysaccharides], *Tihookeanskiy meditsinskiy zhurnal* [Pacific Medical Journal], no. 2, pp. 5–11.

7. Palivoda, O. M. (2009). *Perspektivi rozvitku lonarstva Ukrayini na osnovi formuvannya teritorialno-virobnichih klasteriv* [Prospects for the development of flax growing in Ukraine on the basis of the formation of territorial production clusters], *Legka promislovist* [Light industry], no. 4, pp. 29–31.

8. Tolkachev, O. N., Zhuchenko, A. A. (2010). *Biologicheski aktivnyie veschestva lna: ispolzovanie v meditsine i pitanii* [Biologically active substances of flax: use in medicine and food]. *Himiko-farmatsevticheskiy zhurnal* [Chemical-pharmaceutical journal], no. 34 (7), pp. 23–30.

9. Pashchenko, L. P., Prohorova, A. S., Kobtseva, Ya. Yu., Nikitin, I. A. (2004). *Harakteristika semyan lna i ih primenenie v proizvodstve produktov pitaniya* [Characteristics of flax seeds and their application in food production]. *Hranenie i pererabotka selhozsyirya* [Storage and processing of agricultural raw materials], no. 7. pp. 56–57.

10. Kraevska, C. P., Stetsenko, N. O., Bandurenko, G. M. (2018). *Otsinyuvannya yakosti bilka nasinnya lonu metodom DIASS* [Evaluation of flax seed protein quality by DIASS method], *Zernovi produkti i kombikormi* [Cereals and animal feeds]. no. 18 (3), pp. 10–15. Retrieved from <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/gpmf/article/view/1073>.

11. Stetsenko, N., Kraevska, S. (2018). *Harakteristika kompleksu slizoutvoryuyuchih polisaharidiv, ekstragovanih z nasinnya lonu* [Characteristics of the complex of mucus-forming polysaccharides extracted from flax seeds]. *ΛΟΓΟΣ. Mistetstvo naukovoyi dumki* [ΛΟΓΟΣ. The art of scientific thought], no. 8 (1), pp. 165–167. Retrieved from <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2617-7064/article/view/100>.

Objective is to study the composition, properties and parameters of extraction of mucus-forming polysaccharides of flax seeds.

Methods. The research used seeds of long flax of the “Vruchiy” variety and oil flax-curl of the “Original” variety. Seed sampling was performed in accordance with GOST 10852 (GOST 10852-86, 2010). To remove mucus, whole flax seeds were hydrated for 3 hours in tap water, at a hydromodule of

1:20 and at a temperature of 18-20°C with constant stirring with a magnetic stirrer. Prior to extraction, the raw material was not subjected to any pre-treatment. The resulting mass was poured into boxes and dried at 50°C for 10 hours in SESH-3. The dried mucus was separated from the seeds by rubbing through a sieve №40 with a mesh of 0,42 mm. Using the Oswald viscometer, the viscosity of the resulting solution was measured, and the dry residue was determined. The resulting dry residue was weighed and redissolved in a volume of water equal to the original (taken for extraction).

Determination of the chemical composition of flaxseed mucus was performed by IR spectrometer on a Fourier spectrometer Perkin-Elmer Spectrum One FTIR Spectrometer using potassium bromide in the range from 500 cm⁻¹ to 4000 cm⁻¹. The spectra of the test samples were recorded in a thin layer between zinc selenide plates.

The dynamics of hydration of flax seeds was evaluated on a microscope Bresser Biolux LCD 50x-2000x at a magnification of ×300 times. The ability of flax seeds to retain water was determined by the amount of water retained in the sample after infusion and centrifugation of the corresponding suspension. The ratio of "flax seeds: water" in suspension was 1:10. The value of the indicator was determined as a percentage of the difference between the amount of water used and the weight of the obtained supernatant to the weight of the sample.

Results. The influence of extraction parameters on the quantitative yield of mucus-forming polysaccharides was determined. The characteristic of qualitative composition and quantitative content of mucus in flax seeds is given. The influence of temperature parameters and extraction duration on the yield of mucus-forming polysaccharides in aqueous solution was determined. The technology of dry flax seed additive with gem-forming properties is proposed. The analysis of a mixture of water-soluble polysaccharides and fractions is given. The composition of chemical compounds of monosaccharides of flaxseed mucosa was determined.

Key words: flax seeds, non-starch polysaccharides, mucus, extraction, dry gelatinous additive.

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-79-85

UDC 664.65:[637.521.47:637.56'81/'83]

*Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹*

*Zolotukhina I. V., Grand PhD of Engineering Science,
Associate Professor²*

*Popova S. Yu., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor³*

*Gopkalo L. M., PhD in Economik sciences,
Associate Professor³*

Naumenko A. V., a graduate of a bachelor's degree¹

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

² State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

³ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: popova.svy@nubip.edu.ua.

RESEARCH OF NUTRITIONAL AND BIOLOGICAL VALUE OF FUNCTIONAL MINCED PRODUCTS

УДК 664.65:[637.521.47:637.56'81/'83]

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

Золотухіна І. В., д-р техн. наук, доцент²

Попова С. Ю., канд. техн. наук, доцент³

Гопкало Л. М., канд. економ. наук, доцент³

Науменко А. В., здобувач ОС бакалавра¹

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

² Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна, e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

³ Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна), e-mail: popova.svy@nubip.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРЧОВОЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОСІЧЕНИХ ВИРОБІВ

Objective is an estimation of indicators of food and biological value of finished goods on the basis of the developed semi-finished products in comparison with traditional cut products.

Methods. The content of substances was determined by the following methods: total nitrogen — chloramine method (the amount of protein was found by multiplying the content of total nitrogen by a conversion factor of 6,25); fat — Soxhlet extraction-weight method in Rushkovsky's modification; carbohydrates — by the Bertrand-Bierry method; starch — by hydrolysis; ash — by burning a dried portion in a muffle furnace at a temperature of 450–500 °C; minerals — X-ray fluorescence and photoelectrocolorimetric methods. The energy value of the products was determined by the Atwater coefficients, taking the energy value of 1 g of protein and 1 g of carbohydrates — 4,0 kcal, 1 g of fat — 9,0 kcal. Amino acid composition of experimental cutlets with Jerusalem artichoke and control samples according to traditional recipes, we determined by liquid chromatography using amino acid analyzer LKV 4151 "Alpha Plus" (Sweden), tryptophan content — by the Grecher's method in the modification of O. Ermakov. Amino acid index (E/T index) was defined as the ratio of the number of essential amino acids to the total number of amino acids.

Надійшла до редакції 10.11.2021 р.

© А. В. Слащева, І. В. Золотухіна, С. Ю. Попова,
Л. М. Гопкало, А. В. Науменко, 2021

Results. *The indicators of the chemical composition of cut products with a functional plant additive and compared with the indicators of traditional cut products are studied. It is proved that the developed cut products are characterized by low fat and starch content, as well as low caloric content. The amino acid composition of the products was studied, the amino acid score was calculated and the limiting amino acids were determined. The use of a new vegetable filler has been shown to improve the amino acid composition of minced meat by reducing the number of limiting amino acids from five to two in meat products and from three to one in fish products.*

Key words: *nutritional value, amino acid composition, amino acid speed, vegetable semi-finished product, minced products.*

Formulation of the problem. In today's unfavorable environmental conditions, the problem of the spread of functional nutrition, aimed at strengthening the body's defense systems and reducing the risk of exposure to harmful substances, becomes especially acute. In Ukraine, a large part of the population has deformed diets due to existing food stereotypes, declining purchasing power, a sharp deterioration in the environmental situation, increased consumption of refined products, which negatively affects the intake of the required amount of biologically active substances.

Medico-biological requirements for the chemical composition, biological and functional properties of food can not be sufficiently met without the use of non-traditional ingredients as carriers of certain specific therapeutic and prophylactic properties. Therefore, an important problem today is the search for promising sources of raw materials and the development of methods for its processing, studying the biological value of new products and the specifics of their impact on the human body.

One of the ways to create functional products is to combine animal raw materials with raw materials of plant origin, which allows to obtain products with a high content of animal protein, enriched with plant biologically active compounds. Particular attention in this regard deserve minced meat products, which are in great demand among the population, allow more complete and comprehensive use of raw materials and require low production costs in the implementation of technology.

In recent decades, functional foods in Ukraine [1] are considered an effective means of maintaining the health of the body and reducing the risk of many diseases [2]. Production of functional food products improves the structure of nutrition and health of the population of Ukraine, allows to expand and improve the range of products of restaurants and food industry [3].

Given the above, scientific substantiation and development of semi-finished technology of vegetable raw materials for minced fish and meat mass is a promising and urgent task that will expand the range of products of the restaurant industry and food industry, increase food and biological value of products, influence technological changes indicators, ensure a high level of safety of these products, prevention of chronic diseases and improve human health.

Analysis of recent research and publications. A significant amount of theoretical and practical research on the study, improvement, development and production of new functional foods performed and reflected in the scientific works of leading scientists of Ukraine and other countries: G. I. Kasyanov, M. I. Peresichny, L. V. Kaprelyants, K. G. Iorgacheva, A. P. Levitsky, M. G. Gaparov, A. F. Doronin, F. Bellisle, A. Diplock, G. Hornstra, P. Verschuren and other scientists.

In the domestic market as semi-finished products for food production offers many concentrates in the form of purees and extracts that contain functional compounds. Their use in the cut products provides rational processing and maximum use of available plant resources, provides high quality products in organoleptic and functional-technological characteristics with specified properties, different purposes and reduce production costs and selling prices [4]. In the production of restaurants and the food industry, the use of pureed semi-finished products made from vegetable raw materials is quite limited [5].

Therefore, the problem of increasing the efficiency of the use of vegetable puree semi-finished products and their use in such products from minced fish and meat mass becomes especially important in the development of the latest technologies of functional foods [6].

The theory of functional nutrition requires a new approach to the development of technologies of functional products, which is based on professional knowledge of nutrition [7]. Substan-

tiation and creation of products containing functionally interdependent ingredients of different nature and construction should be based on reliable facts about their functional impact (taking into account the synergistic and complex action) on metabolic [8] and regulatory functions of the body [9].

Among the variety of consumer products (as objects of enrichment) of special interest to scientists are chopped fish and meat masses, the technology of which allows the introduction of plant supplements [10]. This makes it possible to expand the range of cut products and give them the status of functional products.

The research is based on the idea of creating a semi-finished product based on Jerusalem artichoke and pumpkin with lactulose, which can simultaneously act in the technology of chopped fish and meat products as a technological additive (water-binding component) and as a source of functional ingredients. The research aimed at increasing the nutritional and biological value of fish products, as well as the rational use of raw materials, are relevant, timely and in line with the state policy of Ukraine in the field of healthy nutrition.

Objective of the article is an estimation of indicators of food and biological value of finished goods on the basis of the developed semi-finished products in comparison with traditional cut products.

Presentation of the main study material. The analysis of literature sources shows the rationality of combining animal and plant raw materials in terms of obtaining products of high nutritional and biological value. In addition, it should be noted a very important physiological phenomenon, first discovered by A. Pokrovsky: when combining heterogeneous proteins in the diet, their digestibility almost always improves, which was later confirmed by many researchers on the example of meat and fish, meat-dairy, as well as meat and fish and vegetable systems [11].

Table 1 — Chemical composition of minced products (raw weight)

Name of indicators	Meat minced products		Fish minced products	
	checkup	experiment	checkup	experiment
Dry matter, %	23,2	25,4	21,3	20,7
Proteins, %	13,0	12,8	15,0	14,2
Fat, %	11,0	7,8	5,6	3,7
Carbohydrates, %				
- simple carbohydrates	1,6	traces	1,3	traces
- non-starch polysaccharides	13,6	11,0	14,2	12,5
Starch, %	12,0	traces	12,9	traces
Ash, %	1,42	1,69	1,54	1,87
Energy value, kcal /100 g	211,4	165,4	172,4	140,1

Analyzing the data in table 1, it can be noted that the replacement of the bread component with developed semi-finished product allows you to get low-calorie products against the background of a radical change in the quality of carbohydrate composition. Quite a large discrepancy between the fat content in the control and experimental samples, we explain the different ability of fat absorption of the bread component and vegetable puree.

In addition, we determined the content of calcium, magnesium and phosphorus in developed semi-finished product: for meat minced products it is 40,0; 32,8 and 71,6 mg / 100 g, for fish minced products — 27,9; 25,4 and 45,2 mg / 100 g. To assess the nutritional value is important not so much the absolute content of these elements, as their ratio in these products.

According to the formula of a balanced diet according to FAO / WHO, the optimal ratio of calcium and magnesium is 1 : 0,7 and calcium and phosphorus 1 : 1,5. In meat minced products, these ratios are equal to Ca : Mg = 1 : 0,82 and Ca : P = 1 : 1,79; in fish minced products — Ca : Mg = 1 : 0,91 and Ca : P = 1 : 1,62. As you can see, the actual ratio of macronutrients is not optimal, but it is close to the optimal values. In this regard, we can recommend the release of these products with vegetable garnishes (stewed cabbage, boiled carrots, etc.), which have a reduced ratio of Ca : P, which will balance the dish as a whole.

The term «biological value of proteins» means the effectiveness of food nitrogen utilization in the body to maintain nitrogen balance, which is due to the content of essential amino acids and their absorption.

When combining proteins of different origins, first of all, it is necessary to pay attention to their qualitative characteristics. The effect of true enrichment is achieved only by limiting the mixed proteins to various essential amino acids, their sufficiently high content in the enrichment and compliance with certain proportions when mixing.

In case of violation of one of these conditions, mutual enrichment of proteins may not occur or it will be insufficiently effective [12]. When combining high-protein raw materials with vegetable raw materials with low protein content (in the developed semi-finished product — 1,2...1.4% in terms of raw weight), do not expect enrichment. But important in this regard is the inadmissibility of a significant reduction in biological value, the main chemical indicators of which are the amino acid composition and the rate that can be calculated by determining the content of essential amino acids.

Data from amino acid composition studies are shown in table 2.

Table 2 — Amino acid composition of minced products, g / 100 g of protein

Name of indicators	Meat minced products		Fish minced products	
	checkup	experiment	checkup	experiment
Essential amino acids:	30,68	30,50	34,39	33,04
valine	4,06	4,58	4,12	4,09
isoleucine	4,04	3,92	4,04	4,28
leucine	7,18	6,90	7,83	7,20
lysine	5,60	6,12	6,34	6,85
methionine	1,27	1,29	2,23	2,08
threonine	4,24	3,31	5,11	4,42
tryptophan	1,03	1,06	1,10	0,96
phenylalanine	3,26	3,32	3,62	3,16
Substitute amino acids:	60,23	62,59	57,52	52,71
alanine	7,97	11,56	4,79	4,18
arginine	4,72	5,34	4,72	5,11
aspartic acid	8,42	8,58	9,60	8,03
histidine	2,49	2,48	1,92	1,96
glycine	6,40	6,41	6,41	6,41
glutamic acid	16,58	15,14	16,61	14,43
cystine	1,32	1,38	1,28	1,31
serin	5,66	5,03	6,37	5,42
tyrosine	3,01	3,06	2,87	2,99
proline	3,66	3,61	2,95	2,87
The sum of all amino acids	90,91	93,09	91,91	85,75
Amino acid index	0,34	0,33	0,37	0,39

Using the data in table 2, we calculated the amino acid rates of the control and test samples compared to the standard amino acid scale FAO / WHO. The results of the calculations are shown in table 3.

Analyzing the data in table 3, it should be noted that the test samples have better performance than traditional (control). Experiment meat products are unbalanced in valine and methionine + cystine complex, fish products — only in valine. The balance of the control samples is much lower: in meatballs, five amino acids are limiting, in fish — three.

Conclusions. The indicators of chemical composition of cut products with functional vegetable semi-finished products and their comparison with the indicators of products using traditional filler are studied. It is proved that the developed chopped ones are characterized by low fat and starch content, as well as low caloric content. The amino acid composition of the products was studied, the amino acid score was calculated and the limiting amino acids were determined. The

Table 3 – Amino acid rate of minced products, %

The name of the amino acid	Meat minced products		Fish minced products	
	checkup	experiment	checkup	experiment
isoleucine	101	98	101	107
leucine	103	99	112	103
lysine	102	111	115	125
methionine + cystine	74	76	100	97
phenylalanine + tyrosine	105	106	108	103
threonine	106	83	128	111
tryptophan	103	106	110	96
valine	81	92	82	82

addition of a functional vegetable semi-finished product has been shown to improve the amino acid composition of chopped products by reducing the number of limiting amino acids from five to two in meat products and from three to one in fish products.

The conducted research testifies 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 minced meat culinary products. It is especially expedient to include products with the use of the developed semi-finished product in the diets of children and adolescents, ie to supply them to canteens of schools, kindergartens and homes, and it is also recommended for elderly nutrition.

References

1. Verschuren, P. M. (2012). Functional Foods: Scientific and Global Perspectives (Summary Report). *British journal of nutrition*. Vol. 88. № 2. P. 125–130.
2. Bellisle, F., Diplock, A., Gornstra, G. (2008). Functional Food Science in Europe. *British journal of nutrition*. Vol. 80, № 1. P. 181–193.
3. Milner, J. A. (2012). Functional foods and health: a US perspective. *British journal of nutrition*. Vol. 88, № 2. P. 151–158.
4. Ziegler, V., Ferreira, C.D., Hoffmann J.F. et al. (2017). Effects of moisture and temperature during grain storage on the functional properties and isoflavone profile of soy protein concentrate. *Food Chemistry*, 242(1), p. 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.034>.
5. Randulová, Z., Tremlová, B., Řezáčová-Lukášková, Z., Pospiech, M., & Straka, I. (2011). Determination of soya protein in model meat products using image analysis. *Czech Journal Food Science*, 29, p. 318–321. doi: 10.17221/167/2015-CJFS.
6. Zdjelar, G., Nikolić, Z., Vasiljević, I., Bajić, B., Jovičić, D., Ignjatov, M., & Milošević, D. (2013). Detection of genetically modified soya, maize, and rice in vegetarian and healthy food products in Serbia. *Czech Journal Food Science*, 31, p. 43–48. <https://doi.org/10.17221/105/2012-CJFS>.
7. Simonova, I.I., & Peshuk, L.V. (2019). Assessment of organoleptic and functional-technological indices of truncated semi-finished products. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 21(91), p. 143–148. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9124>.
8. Garbowska, B., Radzymińska, M., & Jakubowska, D. (2013). Influence of the origin on selected determinants of the quality of pork meat products. *Czech Journal Food Science*, 31, p. 547–552. <https://doi.org/10.17221/479/2012-CJFS>.
9. Sumczynski, D., Bubelova, Z., Sneyd, J., Erb-Weber, S., & Mlcek, J. (2015). Total phenolics, flavonoids, antioxidant activity, crude fibre and digestibility in nontraditional wheat flakes and muesli. *Food Chemistry*, 174, p. 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.065>.
10. Souza, P. M., Bittencourt, M. L., Caprara, C. C. et al. (2015). A biotechnology perspective of fungal proteases. *Brazil Journal of Microbiology*, 46 (2), p. 337–346. <https://doi.org/10.1590/S1517-838246220140359>.
11. Caparros Megido, R., Alabi, T., Nieuw, C. et al. (2016). Optimisation of a cheap and residential small-scale production of edible crickets with local by-products as an alternative protein-

rich human food source in Ratanakiri Province. *Journal Science of Food and Agriculture*, no. 96(2), p. 627–632. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7133>.

12. Sharma, J.G., Kumar, A., Saini, D., Targay, N.L., Khangembam, B.K., & Chakrabarti, R. (2016). In vitro digestibility study of some plant protein sources as aquafeed for carps *Labeo rohita* and *Cyprinus carpio* using pH-Stat method. *Indian Journal of Experimental Biology*, no.54 (9), p. 606–611. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28699726>.

Список літератури

1. Verschuren P. M. Functional Foods: Scientific and Global Perspectives (Summary Report). *British journal of nutrition*. 2012. Vol. 88. № 2. P. 125–130.
2. Bellisle F., Diplock A., Gornstra G. Functional Food Science in Europe. *British journal of nutrition*. 2008. Vol. 80. № 1. P. 181–193.
3. Milner J. A. Functional foods and health: a US perspective. *British journal of nutrition*. 2012. Vol. 88. № 2. P. 151–158.
4. Ziegler V., Ferreira C. D., Hoffmann J. F. et al. Effects of moisture and temperature during grain storage on the functional properties and isoflavone profile of soy protein concentrate. *Food Chemistry*. 2017. № 242(1). P. 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.034>.
5. Randulová Z., Tremlová, B., Řezáčová-Lukášková, Z., Pospiech, M., & Straka, I. Determination of soya protein in model meat products using image analysis. *Czech Journal Food Science*. 2011. № 29. P. 318–321. <https://doi.org/10.17221/167/2015-CJFS>.
6. Zdjelar G., Nikolić Z., Vasiljević I., Bajić B., Jovičić D., Ignjatov M., Milošević D. Detection of genetically modified soya, maize, and rice in vegetarian and healthy food products in Serbia. *Czech Journal Food Science*. 2013. 31. P. 43–48. <https://doi.org/10.17221/105/2012-CJFS>.
7. Simonova I. I., Peshuk L.V. Assessment of organoleptic and functional-technological indices of truncated semi-finished products. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2019. 21(91). P. 143–148. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9124>.
8. Garbowska B., Radzymińska M., Jakubowska D. Influence of the origin on selected determinants of the quality of pork meat products. *Czech Journal Food Science/* 2013. Vol. 31. P. 547–552. <https://doi.org/10.17221/479/2012-CJFS>.
9. Sumczynski D., Bubelova Z., Sneyd J., Erb-Weber S., Mlcek J. Total phenolics, flavonoids, antioxidant activity, crude fibre and digestibility in nontraditional wheat flakes and muesli. *Food Chemistry*. 2015. Vol. 174. P. 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.065>.
10. Souza P. M., Bittencourt M. L., Caprara C. C. A biotechnology perspective of fungal proteases. *Brazil Journal of Microbiology*, 2015. 46(2), pp. 337–346. <https://doi.org/10.1590/S1517-838246220140359>.
11. Caparros Megido R., Alabi T., Nieuw C. Optimisation of a cheap and residential small-scale production of edible crickets with local by-products as an alternative protein-rich human food source in Ratanakiri Province. *Journal Science of Food and Agriculture*. 2016. Vol. 96(2). P. 627–632. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7133>.
12. Sharma J.G., Kumar A., Saini D., Targay N.L., Khangembam B.K., Chakrabarti R. In vitro digestibility study of some plant protein sources as aquafeed for carps *Labeo rohita* and *Cyprinus carpio* using pH-Stat method. *Indian Journal of Experimental Biology*. 2016. 4 (9). P. 606–611. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28699726>.

Мета — оцінка показників харчової і біологічної цінності готових виробів на основі розроблених напівфабрикатів в порівнянні з традиційними посіченими виробами..

Методи. Вміст речовин визначали за наступними методиками: загального азоту — хлорамінним методом (кількість білку знаходили помноженням вмісту загального азоту на коефіцієнт перерахунку 6,25); жиру — екстракційно-ваговим методом Соклета в модифікації Рушковського; вуглеводи — методом Бертрана-Бьєррі; крохмаль — методом гідролізу; золу — спалюванням висушеної наважки у муфельній печі при температурі 450–500 °С; мінеральні речовини — рентгенофлуоресцентним і фотоелектроколориметричним методами.

Енергетичну цінність продуктів визначали за коефіцієнтами Атвотера, прийнявши енергетичну цінність 1 г білка і 1 г вуглеводів — 4,0 ккал, 1 г жиру — 9,0 ккал. Амінокислотний склад дослідних котлет з топінамбуром і контрольних зразків за традиційною рецептурою ми визначали методом рідинної хроматографії за допомогою амінокислотного аналізатора LKB 4151 «Альфа плюс» (Швеція), вміст триптофану — за методом Грехера в модифікації О. І. Єрмакова Амінокислотний індекс (індекс Е/Т) визначали як відношення кількості незамінних амінокислот до загальної кількості амінокислот.

Результати. Вивчено показники хімічного складу посічених виробів з функціональною рослинною добавкою та порівняно з показниками традиційних посічених виробів. Доведено, що розроблені посічені вироби відрізняються зниженим вмістом жиру і крохмалю, а також низькою калорійністю. Вивчено амінокислотний склад виробів, розраховано амінокислотний скор і визначено лімітуючі амінокислоти. Визначено, що використання нового рослинного наповнювача покращує амінокислотний склад фаршевих виробів, знижуючи кількість лімітуючих амінокислот з п'яти до двох в м'ясних виробках і з трьох до однієї в рибних. Перетравність виробів з рослинною добавкою вище, ніж с хлібом, що пояснюється низьким вмістом жиру і крохмалю в виробках на фоні підвищеного — мінеральних сполук і органічних кислот.

Ключові слова: харчова цінність, амінокислотний склад, амінокислотний скор, рослинний напівфабрикат, посічені вироби.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-86-93
УДК 66.081:628.16:664

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, професор¹
Золотухіна І. В., д-р техн. наук, доцент¹
Дмитревський Д. В., канд. техн. наук, доцент¹
Гузенко В. В., канд. техн. наук, доцент¹
Перекрест В. В., асистент²
Гладкова О. С., здобувач ОС магістра¹

¹ Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна, e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

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

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ БАРОМЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

UDC 66.081:628.16:664

Deynichenko G. V., Grand PhD of Engineering Science, Professor¹
Zolotukhina I. V., Grand PhD of Engineering Science, Associate Professor¹
Dmytrevskiy D. V., PhD in Engineering sciences, Associate Professor¹
Guzenko V. V., PhD in Engineering sciences, Associate Professor¹
Perekrest V. V., assistant Professor²
Hladkova O. S., a graduate of a master's degree¹

¹ State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

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

MODERN TECHNOLOGIES OF BAROMEMBRANE PROCESSES IN THE FOOD INDUSTRY

Мета. Метою статті є аналітичні дослідження способів освітлення та концентрування соків, а також обґрунтування необхідності використання мембранних процесів та обладнання під час виробництва плодоовочевих соків.

Методи. В якості об'єкта дослідження обрані мембранні технології фільтрації, які на сьогоднішній день широко визнані як найбільш перспективні методи очищення рідких харчових середовищ. Дані технології є достатньо перспективними під час проведення процесів концентрування та освітлення фруктових та плодоовочевих соків. Мембрани сприяють ефективному видаленню твердих речовин та бактерій. Мембранні фільтри забезпечують надійний фізичний бар'єр проходження частинок.

Результати. Представлені результати аналізу сучасних методів мембранної обробки рідких харчових продуктів. Проведено огляд сучасного обладнання, яке застосовуються для освітлення і концентрування соку. Розглянуто основні способи обробки соків, зокрема послідовність отримання освітленого соку із застосуванням існуючих технологій і обладнання.

Надійшла до редакції 10.11.2021 р.

© Г. В. Дейниченко, І. В. Золотухіна, В. В. Гузенко,
Д. В. Дмитревський, В. В. Перекрест,
О. С. Гладкова, 2021

Обґрунтовано доцільність застосування мембранних технологій для обробки плодово-ягідних соків. представлено напрями удосконалення процесів концентрування і освітлення соку з плодової сировини, а також необхідність розробки обладнання для їх реалізації. Визначено особливості застосування мікрофільтраційної й ультрафільтраційної мембранної обробки для процесів концентрування та освітлення соків із плодово-ягідної сировини. Проведено аналіз мембранної обробки в тупиковому і тангенціальному режимах. Виявлено основні переваги та недоліки їх застосування в процесах обробки рідких харчових середовищ. Виявлено причини, які ускладнюють широке застосування мембранних технологій в процесах переробки соків. Запропоновано використання мікрофільтраційних і ультрафільтраційних мембранних апаратів для обробки соку. Фільтрація з тангенціальним потоком може використовуватися як для мікрофільтрації, так і для ультрафільтрації фруктових-ягідних соків. Використання тангенціальних фільтрів забезпечує прозорість і мікробіологічну стабільність харчових рідин. Таку продуктивність мембран можна отримати без використання допоміжних речовин і добавок. Це виключає різноманітні проблемні питання, пов'язані з утилізацією цієї продукції. Мембрани за умови правильного використання та своєчасного обслуговування фільтра мають більший термін служби в порівнянні з традиційним тупиковим способом фільтрації. Застосування тангенціальних фільтрів також сприяє збереженню структурних та органолептичних властивостей продукту. Тангенціальні фільтри самоочищаються і не вимагають дорогих витратних матеріалів. Впровадження мембранних технологій в процес обробки дозволить збільшити вихід продукту, зберегти харчову і біологічну цінність освітленого соку, поліпшити якість кінцевого продукту.

Ключові слова: яблучний сік, плодовоовочева сировина, мембранна обробка, мікрофільтрація, ультрафільтрація, концентрація, освітлення.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день плодовоовочева промисловість повинна забезпечувати потреби населення у продуктах харчування високої харчової та біологічної цінності. Одним із таких продуктів є різноманітні плодовоовочеві соки. Соки є важливим продуктом харчування, оскільки забезпечують організм людини комплексом усіх необхідних речовин, таких як вітаміни, макро- та мікроелементи та багато інших корисних речовин [1, 3].

На теперішній час споживання фруктових-овочевих соків постійно зростає. Основними причинами цього є харчова цінність соків, а також рентабельність їх виробництва. Використання сучасного обладнання, яке базується на передових наукових розробках, дозволяє інтенсифікувати виробничий процес і забезпечити швидко переробку великої кількості плодів і овочів для виробництва концентрованих і натуральних соків [2].

Соки містять такі важливі компоненти, як вітаміни, мінерали, фенольні сполуки та інші речовини, що мають антиоксидантні властивості. Наприклад, свіжовичавлений сік містить велику кількість пектину, нерозчинних біополімерів, ліпідів, полісахаридів та інших речовин. Ці речовини можуть бути джерелами помутніння. Наявність колоїдних частинок дисперсії в соку є основною причиною помутніння соку під час зберігання. В результаті відбувається злиття частинок. Спочатку невелике помутніння, потім поступово випадає осад. Під час виробництва освітлених соків колоїдні речовини видаляються. При виготовленні неосвітлених соків використовується тільки освітлення, а колоїдні речовини видаленню не підлягають [4, 5].

Освітлення соку — це процес поділу фруктового соку на осад і прозору рідину. Під час освітлення соку його колоїдна система повністю руйнується. Кількість колоїдів повинна бути зменшена на 20–30 %. Соки після освітлення являють собою рідку фазу продукту з розчиненими в ньому речовинами, вичавленими із плодової тканини. Освітлення соку є одним із найскладніших технологічних процесів. Ця стадія процесу переробки є одним з основних етапів процесу виробництва яблучного соку [6, 7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процес очищення проводиться з метою колоїдної стабілізації продукту під час зберігання, а також поліпшення органолептичних властивостей продукту та його споживчого вигляду. Для того, щоб продукція відповідала міжнародним стандартам, необхідно використовувати сучасні технології та обладнання

на основі передових науково-технічних розробок. Використання мембранних технологій покращує смак, зовнішній вигляд та харчову цінність фруктових соків. Під час мембранного способу обробки необхідним є збереження вітамінів, амінокислот та інших біологічно активних компонентів. Цього можна досягти, уникаючи термічної стерилізації та консервантів [8, 9].

Мембранні пристрої дозволяють створювати сучасні ефективні технології концентрації соків, а також розширити асортимент продукції. За допомогою ультрафільтраційних і мікрофільтраційних пристроїв можна отримати продукти з регульованим мінеральним і вуглеводним складом. Сьогодні основним застосуванням мембран у виробництві соків є їх освітлення та концентрування. Процес освітлення соків здійснюється з метою руйнування колоїдної системи продукту, видалення високомолекулярного білка, пектинових і поліфенольних речовин і мікроорганізмів. Необхідною умовою є збереження біологічно активних і цінних компонентів — вітамінів, цукрів, кислот, мінералів та ароматичних речовин [10].

Процес ультрафільтрації — це різновид мембранної технології, що використовується у харчовому виробництві. Мембранні технології відрізняються залежно від розміру пор мембран, що використовуються. Ультрафільтрація — це процес поділу, фракціонування та концентрування розчинів за допомогою напівпроникних мембран. Середній діаметр пор мембран становить від 0,01 до 0,20 мкм. Робочий тиск знаходиться в межах від 0,1 до 1,0 МПа. За допомогою ультрафільтраційних пристроїв із вихідного розчину відокремлюють дрібні бактерії та віруси, а також великі білкові молекули. Під час ультрафільтрації вихідний розчин поділяється на два принципово нових продукти: низькомолекулярний (фільтрат) і високомолекулярний. Фільтрат проходить через мембрану і видаляється, а високомолекулярний продукт концентрується. На відміну від мікрофільтрації, процес ультрафільтрації може супроводжуватися адсорбцією розчинених речовин на поверхні пор мембрани і навіть міжмолекулярною взаємодією. Ультрафільтраційні пристрої використовуються для розділення систем, в яких молекулярна маса розчинених компонентів значно перевищує молекулярну масу розчинника [11, 12].

Мембрана, що використовується під час ультрафільтрації та мікрофільтрації, є напівпроникним бар'єром. Цей бар'єр пропускає певні компоненти рідких сумішей. Мембрани повинні мати високу роздільну здатність (селективність); високу питому продуктивність (проникність); хімічну стійкість до навколишнього середовища відокремленої системи; механічна міцність [13].

На тривалість дії мембран, а також термін їх служби істотно впливає процес утворення осаду. Шар осаду зазвичай соленепроникний, закупорює поверхневі пори мембрани, створює додатковий опір потоку і масообміну в прикордонному шарі. Внаслідок цього збільшується концентраційна поляризація на мембранах і знижується їх продуктивність. Явище концентраційної поляризації притаманне майже всім баромембранним процесам. Це явище є збільшенням концентрації розчиненої речовини біля поверхні мембрани [14].

Мета статті. Метою статті є аналітичні дослідження способів освітлення та концентрування соків, а також обґрунтування необхідності використання мембранних процесів та обладнання під час виробництва плодоовочевих соків.

Виклад основного матеріалу досліджень. Баромембранні процеси, такі як зворотний осмос, ультрафільтрація, мікрофільтрація, обумовлені градієнтом тиску по товщині мембран, переважно полімерних, і використовуються для поділу розчинів і колоїдних систем за температура 5...30 °С. Перші два процеси принципово відрізняються від звичайного фільтрування. Якщо під час фільтрування продукт відкладається у вигляді кристалічного або аморфного осаду на поверхні фільтра, то при зворотному осмосі та ультрафільтрації утворюються два розчини, один з яких збагачений розчиненою речовиною. У цих процесах накопичення даної речовини біля поверхні мембрани неприпустимо, оскільки призводить до зниження селективності та проникності мембрани.

Внаслідок різної швидкості проходження компонентів суміші через мембрану відбувається так звана концентраційна поляризація, при якій у прикордонному шарі біля

поверхні перегородки накопичується речовина, що має найменшу швидкість проникнення. В результаті при розділенні рідких сумішей знижуються рушійна сила процесу та відповідна селективність, продуктивність та термін служби мембран. Крім того, можливе осадження на мембрані важкорозчинних солей, а також гелеутворення високомолекулярних сполук, що призводить до необхідності очищення мембран. Для зменшення впливу концентраційної поляризації і поліпшення роботи мембран систему, що розділяється, перемішують, що сприяє вирівнюванню концентрацій компонентів у поверхні перегородки і в ядрі потоку. Перемішування здійснюють шляхом збільшення швидкості потоку (до 3–5 м/с) та турбулізації розчину шляхом застосування спеціальних вставок у вигляді сіток, перфорованих або гофрованих листів, спіралей, кульок; використанням ультразвуку тощо.

Концентраційна поляризація негативно впливає на продуктивність мембран. Через підвищення осмотичного тиску розчину рушійна сила процесу поділу зменшується. Також можливе осадження нерозчинних солей на мембрані, гелеутворення високомолекулярних сполук. В результаті знижується проникність і селективність мембран, значно скорочується термін служби. Залежно від конструкції мембранного апарату, властивостей мембрани, вартості готового продукту, продуктивності машини можливе використання різних методів зниження концентраційної поляризації. Одним з таких методів є турбулентність відокремленого розчину. Відбувається підвищення проникності та селективності мембрани за рахунок зменшення концентрації розчинених речовин у прикордонному шарі. Також відбувається зниження осмотичного тиску і збільшення рушійної сили процесу. Створення пульсуючого потоку може, у свою чергу, збільшити швидкість пристінкових шарів рідини. Це знизить ймовірність появи шару осаду на поверхні мембран. Явище концентраційної поляризації притаманне всім мембранним процесам, включаючи мікрофільтрацію та ультрафільтрацію. Поляризація полягає в тому, що концентрація розчиненої речовини на поверхні мембрани збільшується. Знижуються проникність і селективність мембран, скорочується термін служби мембран. Одним із рішень для зменшення ефекту концентраційної поляризації є створення турбулентності поверхневого шару рідини, прилеглого до поверхні мембрани. Це прискорює перенесення розчиненої речовини до центру розчину, який відокремлюється. Для цього в конструкцію додають різні магнітні мішалки і вібраційні пристрої. Також можливе збільшення швидкості потоку рідини вздовж мембрани та використання турбулізаторів. Одним з конструктивних рішень при створенні обладнання є використання приладів з вузькими каналами. Це рішення спрямоване на створення ламінарного режиму переміщення виробу, що дозволяє підвищити продуктивність агрегатів при збереженні малих габаритів пристрою [15].

Підвищення температури рідини може знизити в'язкість розчину, що відокремлюється, одночасно збільшуючи коефіцієнт дифузії розчиненої речовини. Однак цей метод може бути неприйнятним для очищення соків. Також можливе застосування впливу ультразвукових коливань на прикордонний шар мембрани. Основними технологічними параметрами баромембранних процесів є швидкість фільтрації, селективність і проникність компонентів мембрани. Основними факторами, що впливають на процеси мембранного розділення, є температура, тиск, гідродинамічні умови та утворення осаду на мембранах. Однак основним фактором, що впливає на процеси мікрофільтрації та ультрафільтрації, є робочий тиск. Рушійна сила процесу зростає із збільшенням тиску і, отже, збільшується проникність мембрани [16].

Робочий тиск встановлюється залежно від процесу фільтрації, розчину, що поділяється, типу мембрани, конструкції апарату, гідравлічного опору міжмембранного каналу та дренажу. Вплив температури розчину на процес фільтрації є складним. З підвищенням температури в'язкість і густина розчину зменшуються. При цьому відбувається підвищення осмотичного тиску. Знижена в'язкість і щільність збільшують проникність. Підвищення осмотичного тиску зменшує рушійну силу процесу і знижує проникність мембран. Під час підвищення температури в процесах мікрофільтрації та ультрафільтрації відбувається підвищення проникності та селективності мембрани. Це пов'язано зі зниженням

в'язкості пермеату, а також зменшенням впливу концентраційної поляризації на характеристики мембран. Зі збільшенням концентрації розчину зменшується рушійна сила процесу, збільшуються в'язкість і густина розчину, зменшується проникність мембран. Концентрація також впливає на селективність мембран. У розчинах низької концентрації селективність мембран істотно не змінюється зі зміною концентрації. Збільшення концентрації розчинених речовин у розчині погіршує роботу мембран, знижується питома продуктивність і вибірковість апарату. Збільшення концентрації підвищує осмотичний тиск розчину, що, в свою чергу, зменшує ефективну рушійну силу процесу поділу. В'язкість також збільшується, що призводить до зменшення масообміну. Наслідком цього є зниження питомої продуктивності мембран до мінімуму. У цьому випадку практичне використання баромембранних процесів стає недоцільним.

Тупикова і тангенціальна фільтрація використовується на сучасних підприємствах харчової промисловості. Тупикова фільтрація є вискоелективним і економічним способом очищення харчових продуктів, а устаткування для його виконання компактне і зручне в експлуатації (рис. 1).

Тангенціальна фільтрація характеризується проходженням потоку продукту по поверхні мембрани (рис. 2).

Тупикова і тангенціальна фільтрація істотно відрізняються. Під час тупикової фільтрації потік рідини спрямований перпендикулярно до поверхні фільтра, а за тангенціальної фільтрації потік рухається в напрямку, паралельному поверхні мембрани. Як правило, в машинах тангенціальної фільтрації циркуляційний насос створює потік, який рухається по поверхні мембрани. Таким чином, цей потік запобігає утворенню осаду на поверхні мембрани [17].

На відміну від тупикової фільтрації, тангенціальна фільтрація дозволяє проводити процес у безперервному режимі, при цьому пори мембрани не закупорюються. У процесі тангенціальної фільтрації рідина тече не через мембрану, а вздовж неї. Цей метод створює різницю тиску на мембрані. В результаті певний об'єм рідини проходить через мембрану у вигляді фільтрату, а решта продовжує рухатися по мембрані разом з домішками, які в потоці очищують стінки мембрани. Тангенціальна проточна фільтрація характеризується процесом рециркуляції концентрату через поверхню мембрани. Слабкий поперечний потік рідини мінімізує забруднення мембрани. Це підтримує високу швидкість фільтрації та забезпечує високий вихід продукту.

Висновки. Було встановлено, що під час використання ультрафільтраційних установок зберігаються колоїдні речовини, але при цьому пропускаються всі цінні компоненти соку, такі як цукри, органічні кислоти, мінерали,

розчинні вітаміни та амінокислоти. В результаті використання ультрафільтраційних установок харчова та біологічна цінність освітлених соків не знижується. Виявлено можливості застосування мікрофільтраційної й ультрафільтраційної мембранної обробки для процесів концентрації та освітлення соків із плодово-ягідної сировини. Найбільшою популярністю при проектуванні мембранних систем користуються порожні волокна та рулонні мембранні елементи. Системи на їх основі найдешевші та високопродуктивні. Використання мембранних установок із тангенціальними фільтрами сприяє збереженню структурних та органолептичних властивостей продукту. Крім цього, тангенціальні фільтри самоочищаються і не вимагають дорогих витратних матеріалів.

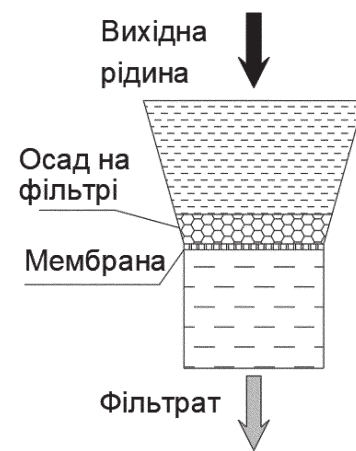


Рисунок 1 — Схема тупикової мембранної фільтрації

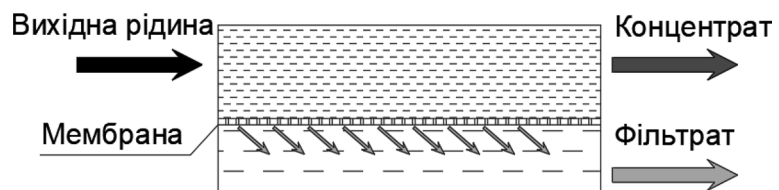


Рисунок 2 — Схема тангенціальної мембранної фільтрації

Список літератури

1. Johanningsmeier, S.D., Harris, G.K. Pomegranate as a Functional Food and Nutraceutical Source. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2011. Vol. 2. pp. 181–201. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030810-153709>.
2. Sharifanfar, R., Mirsaedghazi, H., Fadavi, A., Kianmehr, M. H. Effect of feed canal height on the efficiency of membrane clarification of pomegranate juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015. Vol. 39, pp. 881–886. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12299>.
3. Дейниченко Г. В., Дмитревський Д. В., Гузенко В. В., Афукова Н. О. Аналіз застосування мембранних апаратів для виробництва соків із плодової сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 36–43. doi : [10.31388/2078-0877-2021-21-1-36-43](https://doi.org/10.31388/2078-0877-2021-21-1-36-43).
4. Slavin, J., Lioyd, B. Health Benefits of Fruits and Vegetables. *Journal: Advances in Nutrition*. 2012. № 3. P. 506–516.
5. Cherevko O. I., Deinychenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Guzenko V. V., Heiier H. V., Tsvirkun L. O. Application of membrane technologies in modern conditions of juice production. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2020. Вип. 2 (32). С. 67–77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4369743>.
6. Deinychenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Zolotukhina I. V., Perekrest V. V., Guzenko V. V. Directions of improvement of processes of membrane separation of juices from fruit and berry raw materials. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2021. Вип. 1 (33). С. 89–98. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5036090>.
7. Pavan K., Neelesh S., Rajeev R., Sunil K., Bhat Z. F., Dong K. J. Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)*, 2013. Vol. 26(9), pp. 1347–1358. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13082>.
8. Conidi C., Drioli E., Cassano A. Perspective of Membrane Technology in Pomegranate Juice Processing: A Review. *Foods*. 2020. Vol. 9, pp. 889–914. <https://doi.org/10.3390/foods9070889>.
9. Herbiga, A.-L., Delchierb, N., Striegelb, L., Rychlikb, M., Renarda C. Stability of 5-methyltetrahydrofolate in fortified apple and carrot purees. *LWT – Food Science and Technology*, 2019. Vol. 107, pp. 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.010>.
10. Hacı, A. G., Pelin, O. B., Ufuk, B. Clarification of Apple Juice Using Polymeric Ultrafiltration Membranes: a Comparative Evaluation of Membrane Fouling and Juice Quality, *Food and bioprocess technology*, 2017. Vol. 10, pp. 875–885. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1871-x>.
11. Zhao, D., Lau, E., Huang, S., Moraru, C. I. The effect of apple cider characteristics and membrane pore size on membrane fouling, *LWT-Food Science and Technology*, 2015. Vol. 64, pp. 974–979. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.001>.
12. Mubaiwaa, J., Foglianob, V., Chidewec, C., Linnemann, A. Modelling the stability of maltodextrin-encapsulated grape skin phenolics used as a new ingredient in apple puree. *Food Chemistry*, 2016. Vol. 209, pp. 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.055>.
13. Bagci, P. O. Effective clarification of pomegranate juice: a comparative study of pretreatment methods and their influence on ultrafiltration flux. *Journal of Food Engineering*, 2014. Vol. 141, pp. 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.05.009>.
14. Zuo, G. Z., Wang, R. Novel membrane surface modification to enhance anti-oil fouling property for membrane distillation application. *Journal of Membrane Science*, 2013. Vol. 447, pp. 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.06.053>.
15. Miyoshi, T., Yuasa, K., Ishigami, T., Rajabzadeh, S., Kamio, E., Ohmukai, Y., Saeki, D., Ni, J., Matsuyama, H. Effect of membrane polymeric materials on relationship between surface pore size and membrane fouling in membrane bioreactors. *Applied Surface Science*, 2015. Vol. 330, pp. 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.01.018>.
16. Echavarria, A. P., Falguera, V., Torras, C., Berdun, C., Pagan, J., Ibarz, A. Ultrafiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of fruit juices at pilot plant scale. *LWT-Food Science and Technology*, 2012. Vol. 46(1), pp. 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.008>.

17. Verma, S. P., Sarkar, B. Analysis of flux decline during ultrafiltration of apple juice in a batch cell. *Food and Bioproducts Processing*, 2015. Vol. 94, pp. 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.03.002>.

References

1. Johanningsmeier, S.D., Harris, G.K. Pomegranate as a Functional Food and Nutraceutical Source. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2011. Vol. 2. pp. 181-201. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030810-153709>.
2. Sharifanfar, R., Mirsaedghazi, H., Fadavi, A., Kianmehr, M. H. Effect of feed canal height on the efficiency of membrane clarification of pomegranate juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015. Vol. 39, pp. 881-886. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12299>.
3. Deinychenko, G. V., Dmytrevskiy, D. V., Guzenko, V. V., Afukova, N. O. (2021). *Analiz zastosuvannya membrannykh aparativ dlia vyrobnytstva sokiv iz plodovoi syrovyny* [Analysis of the use of membrane devices for the production of fruit juices]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu* [Proceedings of the Tavria State agrotechnological university], no. 21 (1), pp. 36–43. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2021-21-1-36-43>.
4. Slavin, J., Lloyd, B. Health Benefits of Fruits and Vegetables. *Journal: Advances in Nutrition*. 2012. № 3. P. 506–516.
5. Cherevko, O. I., Deinychenko, G. V., Dmytrevskiy, D. V., Guzenko, V. V., Heiier, H. V., Tsvirkun, L. A. (2020). Application of membrane technologies in modern conditions of juice production. *Prohresyvena tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli* [Advanced techniques and technologies of food production of the restaurant industry], pp. 67–77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4369743>.
6. Deinychenko, G. V., Dmytrevskiy, D. V., Zolotukhina, I. V., Perekrest, V. V., Guzenko, V. V. (2021). Directions of improvement of processes of membrane separation of juices from fruit and berry raw materials. *Prohresyvena tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli* [Advanced techniques and technologies of food production of the restaurant industry], pp. 89–98. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5036090>.
7. Pavan K., Neelesh S., Rajeev R., Sunil K., Bhat Z. F., Dong K. J. Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)*, 2013. Vol. 26(9), pp. 1347-1358. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13082>.
8. Conidi C., Drioli E., Cassano A. Perspective of Membrane Technology in Pomegranate Juice Processing: A Review. *Foods*. 2020. Vol. 9, pp. 889-914. <https://doi.org/10.3390/foods9070889>.
9. Herbiga, A.-L., Delchierb, N., Striegelb, L., Rychlikb, M., Renarda C. Stability of 5-methyltetrahydrofolate in fortified apple and carrot purees. *LWT – Food Science and Technology*, 2019. Vol. 107, pp. 158-163. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.010>.
10. Haci, A. G., Pelin, O. B., Ufuk, B. Clarification of Apple Juice Using Polymeric Ultrafiltration Membranes: a Comparative Evaluation of Membrane Fouling and Juice Quality. *Food and bioprocess technology*, 2017. Vol. 10, pp. 875–885. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1871-x>.
11. Zhao, D., Lau, E., Huang, S., Moraru, C. I. The effect of apple cider characteristics and membrane pore size on membrane fouling. *LWT-Food Science and Technology*, 2015. Vol. 64, pp. 974-979. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.001>.
12. Mubaiwaa, J., Foglianob, V., Chidewec, C., Linnemann, A. Modelling the stability of maltodextrin-encapsulated grape skin phenolics used as a new ingredient in apple puree. *Food Chemistry*, 2016. Vol. 209, pp. 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.055>.
13. Bagci, P. O. Effective clarification of pomegranate juice: a comparative study of pretreatment methods and their influence on ultrafiltration flux. *Journal of Food Engineering*, 2014. Vol. 141, pp. 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.05.009>.
14. Zuo, G. Z., Wang, R. Novel membrane surface modification to enhance anti-oil fouling property for membrane distillation application. *Journal of Membrane Science*, 2013. Vol. 447, pp. 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.06.053>.

15. Miyoshi, T., Yuasa, K., Ishigami, T., Rajabzadeh, S., Kamio, E., Ohmukai, Y., Saeki, D., Ni, J., Matsuyama, H. Effect of membrane polymeric materials on relationship between surface pore size and membrane fouling in membrane bioreactors. *Applied Surface Science*, 2015. Vol. 330, pp. 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.01.018>.

16. Echavarria, A. P., Falguera, V., Torras, C., Berdun, C., Pagan, J., Ibarz, A. Ultrafiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of fruit juices at pilot plant scale. *LWT-Food Science and Technology*, 2012. Vol. 46(1), pp. 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.008>.

17. Verma, S. P., Sarkar, B. Analysis of flux decline during ultrafiltration of apple juice in a batch cell. *Food and Bioprocesses Processing*, 2015. Vol. 94, pp. 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.03.002>.

Objective. *The purpose of the article is analytical studies of methods for clarifying and concentrating juices, as well as substantiating the need to use membrane processes and equipment in the production of fruit and vegetable juices.*

Methods. *Membrane filtration technologies have been selected as the object of research, which are widely recognized today as the most promising methods of purification of liquid food media. These technologies are quite promising during the processes of concentration and clarification of fruit and vegetable juices. Membranes help to effectively remove solids and bacteria. Membrane filters provide a reliable physical barrier to the passage of particles.*

Results. *The results of the analysis of modern methods of membrane processing of liquid food products are presented. An overview of modern equipment used for clarification and concentration of juice. The main methods of juice processing are considered, in particular the sequence of obtaining clarified juice using existing technologies and equipment. The expediency of using membrane technologies for processing fruit and berry juices is substantiated. The directions of improvement of processes of concentration and clarification of juice from fruit raw materials, and also necessity of development of the equipment for their realization are presented. Peculiarities of application of microfiltration and ultrafiltration membrane processing for processes of concentration and clarification of juices from fruit and berry raw materials are determined. The analysis of membrane processing in dead-end and tangential modes is carried out. The main advantages and disadvantages of their use in the processing of liquid food media are identified. The reasons which complicate wide application of membrane technologies in processes of processing of juices are revealed. The use of microfiltration and ultrafiltration membrane devices for juice processing is proposed. Tangential flow filtration can be used for both microfiltration and ultrafiltration of fruit juices. The use of tangential filters provides transparency and microbiological stability of food liquids. Such performance of membranes can be obtained without the use of excipients and additives. This eliminates a variety of problems associated with the disposal of these products. Membranes, with proper use and timely maintenance of the filter, have a longer service life compared to the traditional dead-end method of filtration. The use of tangential filters also helps to preserve the structural and organoleptic properties of the product. Tangential filters are self-cleaning and do not require expensive consumables. The introduction of membrane technologies in the processing process will increase the yield of the product, preserve the nutritional and biological value of clarified juice, improve the quality of the final product.*

Key words: *apple juice, fruit and vegetable raw materials, membrane processing, microfiltration, ultrafiltration, concentration, clarification.*

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-94-100

УДК 635-1/-2(045)

*Цвіркун Л. О., канд. пед. наук¹**Омельченко О. В., канд. техн. наук¹**Цвіркун С. Л., канд. техн. наук²**Чумак А. К., здобувач ОС бакалавра¹*

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.

ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЗАСОБІВ УДОСКОНАЛЕННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ПРИСТРОЮ СОРТУВАННЯ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

UDC 635-1/-2(045)

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

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

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

SELECTION OF CONSTRUCTION MATERIALS AND IMPROVEMENTS AND MEASUREMENTS FOR THE DEVICE SORTING FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS

Мета. Метою статті є вибір конструкційних матеріалів та засобів удосконалення і вимірювання для пристрою сортування плодовоовочевої сировини.

Методи. У роботі для удосконалення пристрою сортування плодовоовочевої сировини застосовано математичні методи та методи нечіткої логіки.

Результати. Зазначено, що матеріали для контакту з виробом повинні відповідати низці вимог, а саме: бути інертними до виробу в умовах експлуатації, включаючи зміни температури та тиску, бути стійкими до корозії, нетоксичними, механічно стійкими, гладкими, легкими в очищенні, а умови не впливали на поверхню використання. Вважається, що з-поміж основних операцій переробної та харчової промисловості є очищення, сортування, сушіння, подрібнення, термічна обробка продуктів. При контакті обладнання із зернами, фруктами, овочами вагому роль відіграють фізичні, механічні, фрикційні, аеро- і гідродинамічні, електричні та оптичні властивості матеріалів. Констатовано, що найчастіше у процесі проектування та виготовлення обладнання харчової промисловості застосовується нержавіюча сталь через корозійну стійкість й довговічність матеріалу.

Проведено комплексне дослідження, яке включає аналіз фізичних властивостей фруктів та овочів (розмір, форма, вага, колір, щільність), урахування властивостей матеріалів, застосування сучасних технічних засобів у конструкції обладнання для сортування плодово-овочевої сировини, що забезпечує ефективне та якісне сортування із можливістю розпізнавання різновидів плодовоовочевої сировини. Розглянуто узагальнену структуру системи візуального контролю потоку яблук на конвеєрній стрічці із застосуванням відеокамери. Інтерпретовано результати дослідження, а саме розрахункова відстань між об'єктивом встановленої відеокамери до поверхні плодово-овочевої сировини на конвеєрній стрічці — 3000 мм, загальний розмір контрольованої ділянки потоку яблук на конвеєрі становить 1112,03 × 843,25 мм, розмір ділянки, що відповідає одному пікселю зображення, становить 1,07 × 0,82 мм. Розмір

Надійшла до редакції 15.09.2021 р.

© Л. О. Цвіркун, О. В. Омельченко,
С. Л. Цвіркун, А. К. Чумак, 2021

точки контрольованого ділянки є в даному випадку достатнім. Разом з тим, розмір ділянки яблунового потоку доцільно збільшити за рахунок розташування відеокамери таким чином, щоб її оптична вісь розташовувалася під гострим кутом до площини конвеєрної стрічки. Зазначене розташування відеокамери дозволяє збільшити розмір контрольованої ділянки потоку яблук до (1400–1800 мм) × 1700 мм.

Ключові слова: конструкційні матеріали, технічні засоби, пристрій для сортування, відеокамера, плодовоовочева сировина, нержавіюча сталь.

Постановка проблеми. Конструкційні матеріали відіграють важливу роль у процесі проектування та експлуатації обладнання, що використовується у сфері харчової промисловості. Так, у Законі України «Про вимоги до предметів та матеріалів, що контактують з харчовими продуктами» зазначено про необхідність дотримання вимог при контакті матеріалів з продуктами харчування, а саме не допускати перенесення їх складових на харчові продукти, з якими вони контактують, що може загрожувати здоров'ю людини або спричинити погіршення стану продуктів харчування [1]. Відповідно, матеріали для контакту з виробом повинні відповідати низці вимог, а саме: бути інертними до виробу в умовах експлуатації, включаючи зміни температури та тиску, бути стійкими до корозії, нетоксичними, механічно стійкими, гладкими, легкими в очищенні, а умови не впливали на поверхню використання.

З-поміж, основних операцій переробної та харчової промисловості є очищення, сортування, сушіння, подрібнення, термічна обробка продуктів. При контакті обладнання із зернами, фруктами, овочами вагому роль відіграють фізичні, механічні, фрикційні, аеро-і гідродинамічні, електричні та оптичні властивості матеріалів [2]. Тому удосконалення обладнання для сортування та калібрування плодовоовочевої сировини потребує комплексного дослідження, яке включає аналіз фізичних властивостей сировини (розмір, форма, вага, колір, щільність) так і урахування властивостей конструкційних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Обладнання харчової промисловості не повинно мати недоліки в конструкції та монтажу задля уникнення щілин та зазорів в стиках. Проте такі дефекти трапляються в машинах для виготовлення арахісового масла, соковижималках. Залишки продуктів осідають, що сприяє розвитку мікроорганізмів, які згодом можуть розмножитися та забруднювати обладнання [3]. Якщо поверхня покрита металевим сплавом або неметалевим (наприклад, кераміка, пластик, гума) кінцева поверхня повинна бути корозійно стійкою та не мати на поверхні розшарувань, відколювань, утворення пухирів [6]. На практиці вибір металів доступний для виготовлення обладнання в харчовій промисловості дуже обмежений.

Найчастіше у процесі проектування та виготовлення обладнання харчової промисловості застосовується нержавіюча сталь через корозійну стійкість й довговічність матеріалу. Проте, подібно будь-якій іншій групі матеріалів, важливо вибрати оптимальний тип сталі з урахуванням можливості застосування дезінфікуючих та миючих засобів. Залежно від передбачуваних умов експлуатації нержавіюча сталь для харчової промисловості виготовляється з наступних марок: AISI 304, AISI 304L, AISI 321, 08X18H10, 08X18H10T, 12X18H10T.

Нержавіюча сталь отримує свою корозійну стійкість з тонкого, міцного шару, який утворюється на поверхні металу. Цей пасивний шар складається із суміші заліза, хрому та іноді оксидів молібдену. Він формується миттєво у повітрі або кисневій воді. Хімічна пасивація є важливою обробкою поверхні, яка можна покращити стійкість до корозії нержавіючої сталі, що використовується для виробу контактної поверхні [7, 10].

Конструкційні матеріали відіграють важливу роль у процесі проектування та експлуатації обладнання, що використовується в сфері харчової промисловості. Їх властивості різняться з точки зору сумісності, технологічності та надійності. Багато матеріалів для харчового обладнання включають полімерні матеріали, еластомери, особливо для ущільнень, прокладок та стиків; мастильні матеріали, які не повинні контактувати з харчовими продуктами; теплоізоляційні матеріали тощо.

Обладнання переробної та харчової промисловості виготовляється із дотриманням відповідних технологій та застосування регламентованих матеріалів, що забезпечує реалізацію передбачуваних умов експлуатації. Так, під час сортування зерна форма і розмір зерна визначаються формою і розміром екранних отворів, кутом нахилу, амплітудою вібрації. Щільність зерна визначає розмір просіювальної поверхні, а форма виробу є важливим параметром, який впливає на транспортувальні характеристики та матеріали. Пристрій для сортування зерна наведено на рис. 1.

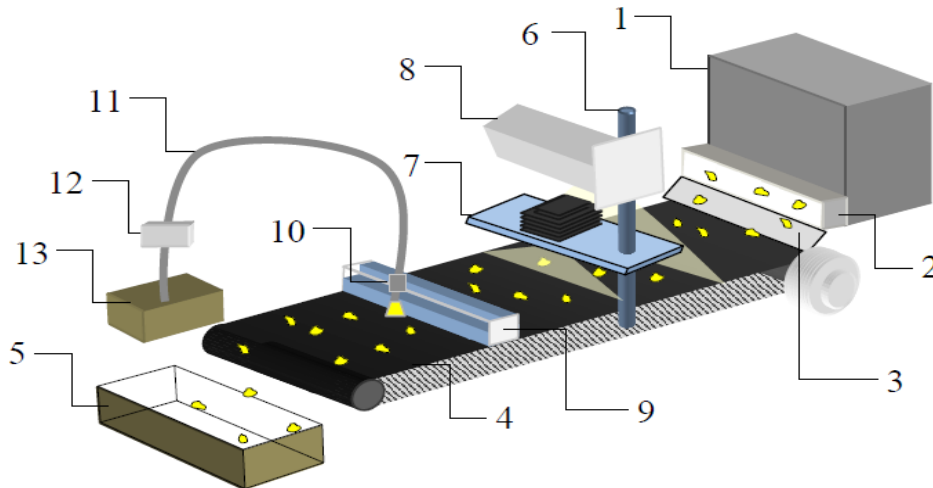


Рисунок 1 — Пристрій для сортування зерна: 1 — завантажувальний бункер; 2 — дозуючий пристрій; 3 — похилий лоток; 4 — транспортна стрічка чорного кольору; 5 — лоток скидання; 6 — штатив; 7–8 — цифрові камери; 9 — каретка; 10 — усмоктувальна головка; 11 — гнучкий шланг; 12 — вакуумний електроклапан; 13 — накопичувач.

Різні види сортувальних і сепараційних пристроїв проектуються на основі фізичних властивостей продукту, таких як розмір, питома вага, шорсткість поверхні, колір [4, 5]. Пристрій для сортування ягід представлено на рис. 2. Він призначений для сортування ягід діаметром 10–20 мм (чорниця, черешня, журавлина, малина, полуниця, оливки).

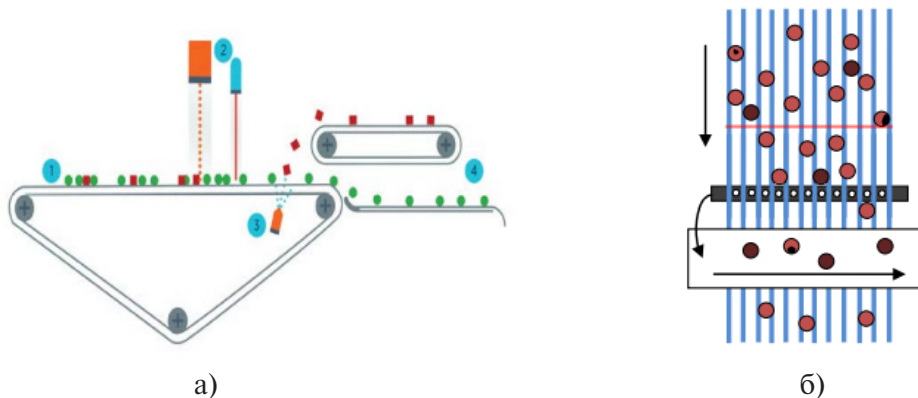


Рисунок 2 — Пристрій для сортування ягід: а) вид збоку (1 — стрічка транспортера; 2 — камера і лазер; 3 — пневмоклапани; 4 — прийнятий і відбраковані матеріал), б) вид зверху

Відповідно, комплексне дослідження, яке включає аналіз фізичних властивостей фруктів та овочів (розмір, форма, вага, колір, щільність), урахування властивостей матеріалів, застосування сучасних технічних засобів у конструкції обладнання для сортування плодовоовочевої сировини забезпечить ефективне та якісне сортування із можливістю розпізнавання різновидів плодовоовочевої сировини.

Мета статті — вибір конструкційних матеріалів та засобів удосконалення і вимірювання для пристрою сортування плодовоовочевої сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Узагальнена структура системи візуального контролю потоку яблук на конвеєрній стрічці із застосуванням технічних засобів (відеокамера) наведена на рис. 3.

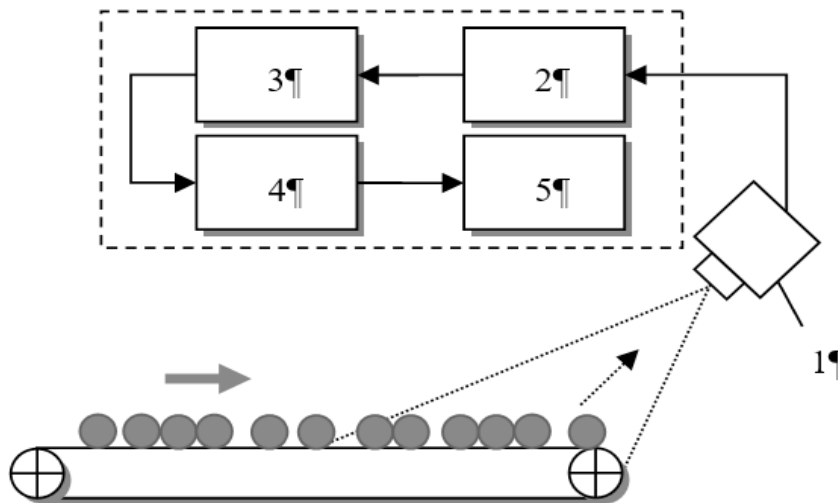


Рисунок 3 — Схема системи автоматичного супроводу яблук на конвеєрній лінії: відеокамера — 1, система перетворення відео в послідовність фотографічних зображень — 2, система поліпшення якості зображень — 3, система розпізнавання різновидів по зображеннях — 4, вихідний інтерфейс системи — 5.

Основним елементом системи візуального контролю характеристик плодовоовочевої сировини на конвеєрній лінії є промислова відеокамера, призначена для перетворення оптичного зображення, одержуваного за допомогою об'єктива на світлочутливій матриці в цифровий потік відеоданих. Типова схема цифрової відеокамери представлена на рис. 4.

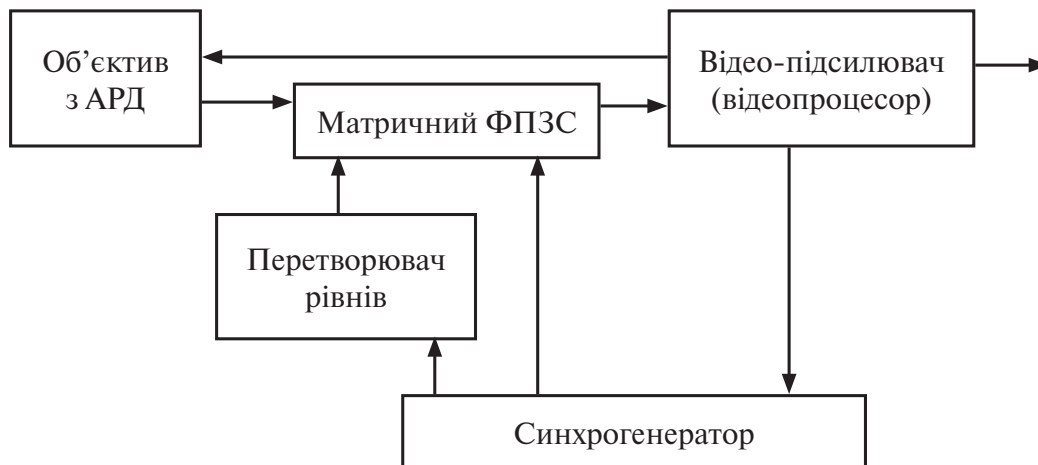


Рисунок 4 — Блок-схема цифрової ФПЗС-відеокамери

Синхрогенератор здійснює управління роботою матричного фотоприймача, здійснюючи всі необхідні для роботи ФПЗС сигнали у вигляді послідовності імпульсів. При цьому частина сигналів з рівнями напруги 0 і 5 В подаються безпосередньо на ФПЗС. Для отримання інших рівнів напруги певні вихідні лінії синхрогенератора підключають до спеціального перетворювача рівнів. Відеопроцесор здійснює посилення і перетворення вихідного аналогового відеосигналу з ФПЗС в стандартну передачі, а також виконує функції управління автоматичного регулювання чутливості.

Важливим параметром для реалізації системи відеосупроводу яблук є чутливість, яка визначається двома параметрами — вольтової чутливістю, тобто крутизною світло-сигнальної характеристики фотоприймача і порогової чутливістю — величиною мінімального реєстрованого світлового потоку. Середнім значенням квантового виходу для ФПЗС є

величина 0,5–0,6 в діапазоні видимих довжин хвиль [8]. Вольтова чутливість крім квантової ефективності визначається площею фоточутливого елемента.

Слід зазначити, що чим менше кут поля зору, тим більше може бути відстань до об'єкта вимірювання при збереженні якості зображення рудного потоку. Миттєве поле зору відеокамери, кут поля зору, який припадає на один піксель, зазвичай вимірюється в мілірадіанах. Миттєве поле зору обчислюють по кожній осі як частка від ділення кута поля зору по осі на кількість пікселів матриці по даній осі, отримане значення переводять в мілірадіани.

При установці відеокамери на відстані 3000×мм до поверхні плодовоовочевої сировини на конвеєрній стрічці, геометричні розміри контрольованої ділянки яблук визначалися за формулами

$$L_x = 2D \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{FOV_x}{2} \right) = 2 \cdot 3000 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{21^\circ}{2} \right) = 1112,03 \text{ мм}, \quad (1)$$

$$L_y = 2D \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{FOV_y}{2} \right) = 2 \cdot 3000 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{16^\circ}{2} \right) = 843,35 \text{ мм}, \quad (2)$$

де D — відстань до поверхні яблук на конвеєрі; L_x , L_y — розмір контрольованої ділянки поверхні яблук на конвеєрі за координатами X і Y відповідно.

Геометричні розміри миттєвого поля зору відеокамери залежать від значень кута миттєвого поля зору, які визначаються за формулами: для першої модифікації

$$IFOV_x = \frac{IFOV_x}{N_x} = \frac{21^\circ}{1024} = 0,0205^\circ \quad (3)$$

$$IFOV_y = \frac{IFOV_y}{N_y} = \frac{16^\circ}{1024} = 0,0156^\circ \quad (4)$$

де $IFOV_x$, $IFOV_y$ — миттєве поле зору по осях X і Y відповідно; FOV_x , FOV_y — поле зору по осях X і Y відповідно; N_x , N_y — кількість пікселів матриці по осях X і Y відповідно.

На основі отриманих значень миттєвого поля зору геометричні розміри миттєвого поля зору були розраховані за формулами

$$l_x = 2D \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{IFOV_x}{2} \right) = 2 \cdot 3000 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{0,0205^\circ}{2} \right) = 1,07 \text{ мм}, \quad (5)$$

$$l_y = 2D \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{IFOV_y}{2} \right) = 2 \cdot 3000 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{0,0156^\circ}{2} \right) = 0,82 \text{ мм}, \quad (6)$$

де L_x , L_y — розміри ділянки, контролюється в межах миттєвого поля зору по координатам X і Y відповідно; D — відстань до поверхні яблук на конвеєрі.

Отже, розрахункова відстань між об'єктивом встановленої відеокамери до поверхні плодовоовочевої сировини на конвеєрній стрічці — 3000 мм, загальний розмір контрольованої ділянки потоку яблук на конвеєрі становить 1112,03 × 843,25 мм, розмір ділянки, що відповідає одному пікселю зображення, становить 1,07 × 0,82 мм. Розмір точки контрольованої ділянки є в даному випадку достатнім. Разом з тим, розмір ділянки яблуневого потоку доцільно збільшити за рахунок розташування відеокамери таким чином, щоб її оптична вісь розташовувалася під гострим кутом до площини конвеєрної стрічки. Зазначене розташування відеокамери дозволяє збільшити розмір контрольованої ділянки потоку яблук до (1400–1800 мм) × 1700 мм.

Висновки. Отже, матеріали для контакту з виробом повинні відповідати низці вимог, а саме: бути інертними до виробу в умовах експлуатації, включаючи зміни температури та тиску, бути стійкий до корозії, нетоксичними, механічно стійкими, гладкими, легкими в очищенні, а умови не впливали на поверхню використання. Зазначено, що з-поміж, основних операцій переробної та харчової промисловості є очищення, сортування, сушіння, подрібнення, термічна обробка продуктів. При контакті

обладнання із зернами, фруктами, овочами вагому роль відіграють фізичні, механічні, фрикційні, аеро- і гідродинамічні, електричні та оптичні властивості матеріалів. Констатовано, що найчастіше у процесі проектування та виготовлення обладнання харчової промисловості застосовується нержавіюча сталь через корозійну стійкість й довговічність матеріалу.

Проведено комплексне дослідження, яке включає аналіз фізичних властивостей фруктів та овочів (розмір, форма, вага, колір, щільність), урахування властивостей матеріалів, застосування сучасних технічних засобів у конструкції обладнання для сортування плодовоовочевої сировини, що забезпечує ефективне та якісне сортування із можливістю розпізнавання різновидів плодовоовочевої сировини. Розглянуто узагальнену структуру системи візуального контролю потоку яблук на конвеєрній стрічці із застосуванням відеокамери. Інтерпретовано результати дослідження.

Список літератури

1. Закон України «Про вимоги до предметів та матеріалів, що контактують з харчовими продуктами». URL : http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/NT1668.html.
2. Krishnakumar, T. Engineering properties of agricultural materials. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330533752_Engineering_Properties_of_Agricultural_Materials.
3. Kirabira, J., Ssembatya, M., Ayo, A. Materials selection and fabrication practices for food processing equipment manufacturers. *International journal of scientific & technology research*. 2017. Vol. 6. P. 632–641.
4. Павленко Н. А. Исследование и разработка оптико-электронной системы для сепарации минерального сырья по цвету : дис. ... канд. тех. наук : 05.11.07. Санкт-Петербург, 2016. 150 с.
5. Hiwa Golpira, Hemin Golpira. Improvement of an apple sorting machine using PSNR criterion. *Advanced mechatronic systems*. 2012. Vol. 2. P. 729–732.
6. Sanitary design and construction of food equipment. Retrieved from <https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7366/files/inline-files/26502.pdf>.
7. Lewan, M. Food processing equipment construction materials. Nickel Institute, UK : Materials engineering research laboratory, 2014. 155 p.
8. Березин В. В., Умбиталиев А. А., Фахми Ш. С. Твердотельная революция в телевидении: телевизионные параметры на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле. М. : Радио и связь, 2006. 98 с.
9. Нестерук Д. А. Тепловой контроль и диагностика. Томск : Изд. ТПУ, 2007. 104 с.
10. Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є., Степаненко В. О. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. К. : Либідь, 2002. 328 с.

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine (2015). *Zakon Ukrayiny Pro vymohy do predmetiv ta materialiv, shcho kontaktuyut z kharchovymy produktamy* [On the requirements for items and materials in contact with food]. Retrieved from http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/NT1668.html.
2. Krishnakumar, T. Engineering properties of agricultural materials. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330533752_Engineering_Properties_of_Agricultural_Materials.
3. Kirabira, J., Ssembatya, M., Ayo, A. Materials selection and fabrication practices for food processing equipment manufacturers. *International journal of scientific & technology research*. 2017. Vol. 6. P. 632–641.
4. Pavlenko, N. A. (2016). *Research and development of an optoelectronic system for the separation of mineral raw materials by color* [Research and development of an optoelectronic system for the separation of mineral raw materials by color. Thesis of PhD in Engineering sciences]. St. Petersburg, 150 p.

5. Hiwa Golpira, Hemin Golpira (2012). *Uovershenstvovaniye mashiny dlya sortirovki yablok po kriteriyu PSNR* [Improvement of an apple sorting machine using PSNR criterion]. *Prodvintyye mekhatronnyye sistemy* [Advanced mechatronic systems]. Vol. 2, pp. 729–732.
6. Sanitary design and construction of food equipment. Retrieved from <https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7366/files/inline-files/26502.pdf>.
7. Lewan, M. Food processing equipment construction materials. Nickel Institute, UK : Materials engineering research laboratory, 2014. 155 p.
8. Berezin, V. V., Umbitaliyev, A. A., Fakhmi, Sh. S. (2006). *Tverdotel'naya revolyutsiya v televidenii: televizionnyye parametry na osnove priborov s zaryadovoy svyaz'yu, sistem na kristalle i videosistem na kristalle* [The solid state revolution in television: television parameters based on ccd, system-on-chip, and video-on-chip]. Moscow, 98 p.
9. Nesteruk, D. A. (2007). *Teplovoy kontrol' i diagnostika* [Thermal control and diagnostics]. Tomsk, 104 p.
10. Khilchevsky, V. V., Kondratyuk, S. Y., Stepanenko, V. O. (2002). *Materialoznavstvo i tekhnolohiya konstruksiynykh materialiv* [Materials science and technology of construction materials]. Kiev, Lybid Publ., 328 p.

Objective. *The purpose of the article is the choice of construction materials and means of improvement and measurement for the device of sorting of fruit and vegetable raw materials.*

Methods. *Mathematical methods and methods of fuzzy logic are used in the work on improving the device for sorting fruit and vegetable raw materials.*

Results. *It is noted that the materials for contact with the product must meet a number of requirements, namely: be inert to the product in operating conditions, including changes in temperature and pressure, be corrosion resistant, non-toxic, mechanically stable, smooth, easy to clean, and the conditions are not affected on the surface of use. It is believed that the main operations of the processing and food industries are cleaning, sorting, drying, grinding, heat treatment of products. Physical, mechanical, frictional, aero- and hydrodynamic, electrical and optical properties of materials play an important role in the contact of equipment with grains, fruits and vegetables. It is stated that most often in the process of designing and manufacturing equipment for the food industry, stainless steel is used due to corrosion resistance and durability of the material.*

A comprehensive study was conducted, including analysis of physical properties of fruits and vegetables (size, shape, weight, color, density), accounting for properties, application of modern technical means in the design of equipment for sorting fruit and vegetable raw materials, which provides efficient and high-quality sorting fruit and vegetable raw materials. The generalized structure of the system of visual control of the flow of apples on the conveyor belt with the use of a video camera is considered. The results of the study were interpreted, namely the calculated distance between the lens of the installed video camera to the surface of fruit and vegetable raw materials on the conveyor belt — 3000 mm, the total size of the controlled section of apple flow on the conveyor is $1112,03 \times 843,25$ mm, the area corresponding to one pixel, is $1,07 \times 0,82$ mm. The size of the point of the controlled area is sufficient in this case. At the same time, it is expedient to increase the size of the section of the apple stream due to the location of the video camera so that its optical axis is located at an acute angle to the plane of the conveyor belt. The specified location of the video camera allows you to increase the size of the controlled area of the flow of apples ($1400-1800$ mm) \times 1700 mm.

Key words: *construction materials, hardware, sorting device, video camera, fruit and raw materials, stainless steel.*

Піддубний В. А., д-р техн. наук, професор¹

Стадник І. Я., д-р техн. наук, професор²

Федорів В. М., канд. техн. наук, доцент³

Максименко І. Ф., інженер³

¹ Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна.

² Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, e-mail: igorstadnykk@gmail.com.

³ Подільський державний університет м. Кам'янець-Подільський, Україна, e-mail: fedoriv55@ukr.net.

⁴ Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ВІНОМАТЕРІАЛІВ

UDK 663.236

Piddubnyi V. A Grand PhD of Engineering Science, Professor¹

Stadnyk I. Y., Grand PhD of Engineering Science, Professor²

Fedoriv V. M. PhD in Engineering sciences, Associate Professor³

Maksymenko I. F., engineer⁴

¹ Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine, e-mail: a.poddubnaya@i.ua.

² Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: igorstadnykk@gmail.com.

³ Podillia State University, Kaminech-Podilsk, Ukraine, e-mail: fedoriv55@ukr.net.

⁴ National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine.

INTENSIFICATION OF PROCESSES OF WINE MATERIAL PRODUCTION

Мета — дати наукове обґрунтування особливостей виробництва виноматеріалів з підвищення виходу суслу та інтенсифікацією процесів їх перебігу на основі збереження відомих класичних складових подрібнення винограду з відокремленням гребенів, одержання мезги та відокремлення мезги від суслу. Дослідити технологічну доцільність використання пресування, фільтрації тощо, фізичною основою яких є переведення середовищ в незрівноважений термодинамічний стан.

Методи. Для досліджень використано: поглиблений аналіз термодинамічних співвідношень показників газорідних систем і штучного переведення середовищ до станів нерівноваги з потенціалами швидкоплинної десатурації розчиненої газової фракції.

Результати. Встановлений позитивний вплив сатурації подрібненої маси під тиском 0,3–0,5 МПа при насиченні клітин плодів, ягід та овочів рівно як і рідинної фракції сатуруючим газом з загальним підвищенням тиску.

Розглянуто фізичне підґрунтя термодинамічних переходів на основі законів розчинності Генрі і Мендєлєєва-Клапейрона з представленням залежностей показників матеріальних потоків під час їх трансформацій та пропозицій щодо визначення потужностей і енергетичних потенціалів при імпульсних впливах за проходження ягідно-сокового потоку через вакуумну камеру.

Встановлено вплив різкого скидання тиску до атмосферного в приймальному бункері-резервуарі перед пресуванням, що приводить до повного руйнування оболонок клітин і до підвищення виходу соку з біологічної сировини та прискорення перебігу часу.

Надійшла до редакції 17.10.2021 р.

© В. А. Піддубний, І. Я. Стадник,
В. М. Федорів, І. Ф. Максименко, 2021

Запропоновано апаратурне забезпечення технологій з оцінкою перспектив їх розширеного використання, де одержання виноградного суслу на основі ТРЗТ досягається подвійним потенціалом енергетичного впливу, за рахунок підвищених тисків і за рахунок вакуумування. Наведено інформація щодо розчинності CO₂ в різних середовищах.

Ключові слова: виноматеріал, інтенсифікація, вихід суслу, незрівноважений термодинамічний стан, розчинність, діоксид вуглецю, кисень.

Постановка проблеми. Відомо, що загальна технологія виноробства передбачає проведення таких процесів як подрібнення винограду з відокремленням гребенів з одержанням мезги, відокремлення мезги від суслу, обробка мезги і суслу, зброджування, пресування, фільтрування, сульфитація, егалізація тощо. При цьому очевидно, що названі процеси взаємопов'язані, а їх перебіг, послідовність і взаємозалежність визначають логіку і завдання технологій [1–3].

Вхідний сировинний потік у формі виноградних грон складається з ягід і гребенів, а самі ягоди — з оболонки, насіння і м'якоти. Співвідношення цих частин та їх склад у значній мірі визначає вихід вина і його склад [4]. Головне завдання технології стосується вилучення виноградного соку і перетворення його у вино. Однак сукупність взаємодій на цих етапах призводить до потрапляння в сік речовин, що присутні в гребенях, оболонках і насінні винограду, які впливають надалі на хімічний склад та якість вина. Зокрема на хімічний склад суслу і вина впливають дубильні речовини гребенів, а присутність самих гребенів робить мезгу більш пористою, вони затримують повітря, збільшуючи фактор аерації, що у свою чергу впливає на активацію розмноження дріжджів. Під час пресування гребені виконують роль елементів дренажу, що сприяє інтенсифікації стікання соку. На цій властивості ґрунтується пресування цілих грон для отримання виноматеріалів для шампанських та ігристих вин. Звернемо увагу на останню особливість, оскільки в ній започатковані певні втрати вихідного продукту.

Хімічний склад оболонки, м'якоти та насіння винограду також впливають на якість виноматеріалів. М'якоть ягід є головним носієм соку, а оболонки і насіння в результаті подовженої присутності в середовищі збагачують його екстрактивними речовинами. Бажані обмеження при цьому стосуються переходу в рідинну фракцію жирів насіння, через які доводиться обмежувати величину тиску пресування.

В залежності від технологій синтезу вин враховуються різні сполучення параметрів процесів. Так для одержання шампанських і хересних виноматеріалів, а також білих якісних вин необхідно, щоб кількість дубильних речовин була обмеженою. В результаті обмеженою має бути присутність в середовищі оболонки і гребенів.

Наведене спрощене і обмежене звертання до окремих аспектів одержання виноматеріалів далеко для відтворення якісної навіть початкової інформації [5], однак надає можливість прийти до висновку про доцільність оцінки перспектив ощадливих впливів на різних етапах технології отримання виноматеріалів з метою збільшення виходу кінцевої продукції без втрат її якісних показників.

Мета статті — узагальнення результатів розробки систем для інтенсифікації процесів виробництва виноматеріалів. Методи дослідження стосуються поглибленого аналізу термодинамічних співвідношень показників газорідних систем і штучного переведення середовищ до станів нерівноваги з потенціалами швидкоплинної десатурації розчиненої газової фракції.

Виклад основного матеріалу дослідження. За умови формулювання такого завдання дослідження увага перш за все приділяється процесам подрібнення винограду, організації відокремлення мезги від суслу, пресування, фільтрування тощо з наступним переходом до оцінки ефективності окремих процесів наступних етапів технологій. З фізичної точки зору останні названі процеси, у тому числі самостікання мезги без додаткового тиску або з ним, можуть розглядатися як макровпливи [6]. В наборі способів освітлення використовують відстоювання, електрофлотацію, флотацію, фільтрування, центрифугування тощо [7, 8].

Наявність перехресних зв'язків і взаємних переваг та обмежень у послідовності виконання етапів приводить до висновку про доцільність використання мікр впливів. Звернемося до їх представлення на основі запатентованих ідей. Наприклад, формула патенту України на корисну модель 10461 «Спосіб одержання соків при переробці плодів та ягід» містить перелік операцій, який в певній мірі стосується виноробства: спосіб одержання соків при переробці плодів та ягід, що включає подрібнення, бланшування, пресування маси та освітлення соків, який відрізняється тим, що подрібнена маса після бланшування в режимі її транспортування подається на сатурацію під тиском 0,3–0,5 МПа з наступним різким зменшенням тиску до атмосферного в приймальному буферному резервуарі перед пресуванням.

Автори такої новації вбачали наступний причинно-наслідковий зв'язок між запропонованими ознаками та технічним результатом. При сатурації подрібненої маси під тиском 0,3–0,5 МПа відбувається насичення клітин плодів, ягід та овочів рівно як і рідинної фракції сатуруючим газом з загальним підвищенням тиску. За подальшого різкого скидання тиску до атмосферного в приймальному бункері-резервуарі перед пресуванням відбувається повне руйнування оболонок клітин, що приводить до підвищення виходу соку з біологічної сировини та прискорення перебігу часу.

Запропонована ідея впливу на оброблюване середовище передбачає надання йому додаткового енергетичного потенціалу за рахунок насичення, наприклад, діоксидом вуглецю. Очевидно, що при цьому маємо два відмінні етапи. Під час сатурації відбувається насичення на CO_2 всіх вологовмістких структур практично без змін їх об'ємів. При цьому кількість поглиненого діоксиду вуглецю визначається відповідно до закону Генрі:

$$c_n = kP, \quad (1)$$

де c_n — рівень насичення середовища газовою фазою, кг/м^3 ; k — константа Генрі, $\text{кг}/(\text{м}^3 \times \text{Па})$; P — парціальний тиск газової фази, Па.

Константа Генрі відображає сукупність фізичних і хімічних властивостей розчинника і розчинюваної речовини і особливістю їх взаємодії є різке зростання розчинності зі зниженням температури (див. табл. 1).

Таблиця 1 — Залежність розчинності CO_2 від температури і тиску для різних продуктів

$t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$										
P , бар CO_2 , г/л	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пиво	2,52	5,05	7,57	10,1	12,62	15,14	17,67	20,19	22,72	25,24
Безалкогольний напій	2,38	4,76	7,14	9,52	11,9	14,28	16,66	19,04	21,42	23,8
Мінеральна вода	2,34	4,68	7,02	9,36	11,7	14,04	16,38	18,72	21,06	23,4
Ігристе вино	2,62	5,25	7,87	10,49	13,11	15,74	18,36	20,98	23,6	26,23
$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$										
P , бар CO_2 , г/л	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пиво	1,91	3,81	5,72	7,63	9,53	11,44	13,34	15,25	17,16	19,06
Безалкогольний напій	1,81	3,63	5,44	7,25	9,07	10,88	12,7	14,51	16,32	18,14
Мінеральна вода	1,78	3,57	5,35	7,13	8,92	10,7	12,48	14,26	16,05	17,83
Ігристе вино	1,96	3,91	5,87	7,83	9,78	11,74	13,69	15,65	17,61	19,56

Продовження таблиці 1

		$t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$									
P , бар	CO_2 , г/л	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Пиво	1,48	2,96	4,44	5,92	7,39	8,87	10,35	11,83	13,31	14,79
	Безалкогольний напій	1,42	2,84	4,26	5,67	7,09	8,51	9,93	11,35	12,77	14,18
	Мінеральна вода	1,39	2,79	4,18	5,58	6,97	8,37	9,76	11,16	12,55	13,95
	Ігристе вино	1,5	3	4,5	6	7,51	9,01	10,51	12,01	13,51	15,01

Очевидно, що завершенню процесу сатурації відповідає повне насичення середовища. Важливо, що час перебігу цього етапу може бути достатньо швидкоплинним або в певній мірі сповільненим. Досягнення стану термодинамічної рівноваги системи означає, що гранична насиченість досягнута і їй відповідає певний енергетичний потенціал. Останній приводиться в дію за умови різкої розгерметизації системи, яка у зв'язку з падінням тиску переходить у незрівноважений стан. Подальший плин процесу відповідає закону найбільш вірогідного стану, за якого CO_2 швидкоплинно з розчиненої форми переходить у газову і залишає середовище. Саме перехід діоксиду вуглецю у газову форму спричиняє руйнування всіх біологічних структур, у тому числі і клітинних оболонок. Очевидно, що в цьому процесі має місце повна протилежність пресуванню, оскільки в запропонованій технології співпадають напрямки силових дій, деформацій замкнених структур і перемішень утворюваних мікропотоків.

Подальший розвиток ідеї використання підвищених тисків сатурації в системах для одержання соків при переробці плодів та ягід одержав розвиток в системі для одержання дифузійного соку, на яку отримано патент України на винахід 85414 з наступною формулою: система для одержання дифузійного соку, що складається з бурякорізки, транспортної системи, ошпарювача і дифузійного апарата, яка відрізняється тим, що на ділянці між бурякорізкою і ошпарювачем послідовно встановлено сатуратор з двома шлюзовими затворами і вакуумну камеру з двома шлюзовими затворами, а об'єми вакуумної камери і сатуратора по газовій фазі з'єднані між собою магістраллю з вакуумним насосом (рис. 1).

Система для одержання дифузійного соку працює наступним чином. Бурякова стружка із бурякорізки 1 по транспортній системі 2 надходить до сатуратора 3, в якому відбувається її насичення сатураційним газом. Насичена на CO_2 бурякова стружка подається в вакуумну камеру 5, в якій сатураційний газ інтенсивно виділяється з клітин бурякової стружки, що приводить до руйнування їх оболонок. Виділений із стружки сатураційний газ по магістралі з вакуумним насосом 7 повертається в сатуратор 3, а шлюзові затвори 4 і 6 забезпечують герметизацію внутрішніх об'ємів сатуратора і вакуумної камери. Далі стружка надходить до ошпарювача 8, в якому здійснюється її теплова обробка з метою додаткового руйнування оболонок її клітин без руйнування бажаної заданої фізичної форми на користь екстракції в дифузійному апараті.

В схемі присутня логіка послідовності дій, хоча б тому, що газонасичення вологої фракції стружки доцільно здійснювати за можливої найменшої температури для одержання максимального насичення $c_{n\text{max}}$. Завдяки вакуумування значення $c_{n\text{min}}$ мінімізується. Впливи абсолютних тисків CO_2 як парціальних в загальних співвідношеннях наведено на рис. 2 для стабілізованих значень температур. Кожне значення зниження тиску на другому етапі супроводжується зниженням розчинності:

$$c_n = k(P_{\text{max}} - P_{\Delta c}) \text{ кг/м}^3, \quad (2)$$

Використання наведеної залежності стосовно бурякової стружки у деякій мірі ускладнено через структуру середовища і відсутність вихідних даних, але фізичній суті явища вона відповідає.

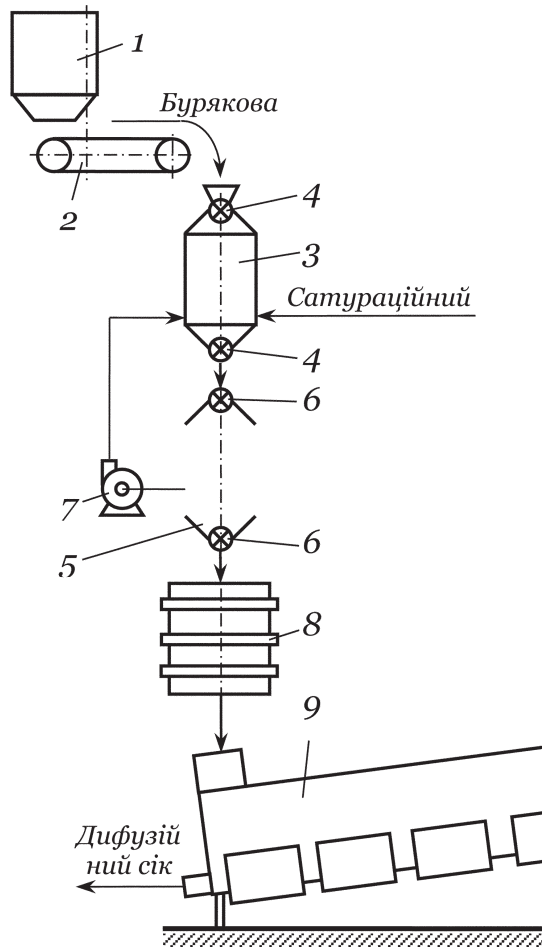


Рисунок 1 — Система для одержання дифузійного соку (патент України 85414)

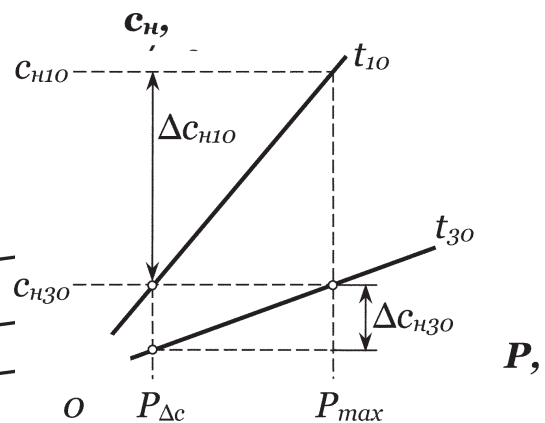


Рисунок 2 — Графіки залежностей $c_n = c_n(P)$ в умовах стабілізованих температур

Для рідинних фракцій соків, напоїв, пива, вин тощо ці показники відомі або можуть бути визначені. Швидкоплинне виділення газової фракції відображує енергетику цього процесу і залежить від кількості виділеного потоку і часу перехідного процесу. Використання термодинамічних перетворень в газонасичених середовищах можливо оцінювати у формі аналога трансформацій, які мають місце в системах, що відповідають дискретно-імпульсним технологіям, в основу яких покладено накопичення теплових енергетичних потенціалів [9].

Наведені міркування щодо можливостей розширення і нетрадиційного використання технологій різких змін тисків (ТРЗТ) в якійсь мірі були спровоковані представниками Київського заводу шампанських вин у зв'язку з проханням створити технологію з підвищеним виходом суслу без підвищення тиску пресування грон винограду. Розроблена установка повинна була відповідати мінімуму апаратних доповнень до існуючої системи в одному з підшефних господарств на півдні України. Досліди виконувалися за участю представників Національного інституту винограду і вина «Магарач» з завершенням циклу виробництва шампанського на основі одержаних виноматеріалів. До складу установки (рис. 3) входили гребневідокремлювач 1, транспортна система 2, насос 3, ежектор-сатуратор 4, вакуумна камера 6 з шлюзовими затворами 5, прес 7 і балон з діоксидом вуглецю 8. Потік ягідно-сокової суміші насосом подавався в ежектор-сатуратор, в якому взаємодіяв з діоксидом вуглецю, що відбирався з вакуумної камери. В цій зоні і на ділянці подальшого транспортування до верхнього шлюзового затвора відбувалася інтенсивна сатурація газорідинної суміші і насичення її до планового рівня. Відмітимо, що циркуляційний контур CO_2 є замкнутим, оскільки газова фракція останнього відбиралася з вакуумної камери і спрямовувалася в ежектор-сатуратор. Оброблена ягідно-сокова суміш видалялася через нижній шлюзовий затвор і передавалася на пресування.

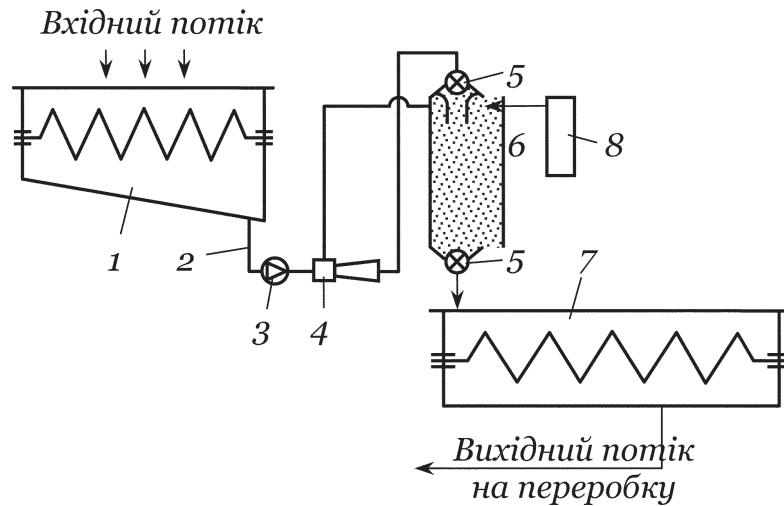


Рисунок 3 — Схема системи одержання виноградного сула на основі ТРЗТ

Замкнутість циркуляційного контуру CO_2 гарантує відсутність втрат рідинної фракції, тоді як приріст масового потоку після проходження вакуумної камери є очікуваним. Співвідношення змін мас на вказаних етапах відображується залежністю:

$$\frac{dm_{em}}{d\tau} = \frac{dm_{nep}}{d\tau} + \frac{d(\Delta m_{em})}{d\tau}, \quad (3)$$

де $\frac{dm_{em}}{d\tau}$ — вторинний масовий потік рідинної фракції на виході з вакуумної камери, кг/с;

$\frac{dm_{nep}}{d\tau}$ — первинний масовий потік ягідно-сокової суміші після гребеневідокремлювача, кг/с;

$\frac{d(\Delta m_{em})}{d\tau}$ — приріст рідинного масового потоку за взаємодії у вакуумній камері, кг/с.

Умову (3) слід оцінювати на рівні першого наближення, оскільки вакуумування має подовжений фізичний вплив і під час наступних технологічних етапів: пресування і повного відділення мезги. Очевидно, що за використання традиційних технологій складова

$\frac{d(\Delta m_{em})}{d\tau}$ відсутня.

Загальний приріст рідинного масового потоку є наслідком енергетичного імпульсного впливу, який чиниться у внутрішньому об'ємі вакуумної камери. Такий імпульс швидкоплинного утворення і розширення газової фракції є результатом попередніх трансформацій, за яких вона стискалася і проходила етап розчинення.

Етап стискання газової фракції достатньо коректно відображується положеннями термодинаміки, які визначають співвідношення тисків, об'ємів, мас, температур і в сумі енергетичних потенціалів. Звертання до рівняння Менделєєва-Клапейрона, записане у формі газового потоку

$$P_2 V_2 = m_2 RT \quad (4)$$

за відомого значення масового потоку CO_2 , що переноситься рідинною фракцією і за фіксованого тиску P , дозволяє продовжити розробку методики розрахунків системи. Оскільки енергетичний імпульс створюється частиною газової фракції, що переноситься рідинним потоком, то масовий потік цієї частини складає:

$$m_{pid} = k P V_{pid}, \quad \text{кг/с} \quad (5)$$

де V_{pid} — об'ємний потік рідинної фракції, $\text{м}^3/\text{с}$.

Значення константи Генрі є стабілізованим, об'ємний потік рідинної фракції визначається виробничими умовами, а тому фактором регулювання впливу на систему залишається тиск CO_2 в системі контуру.

За наявного значення масового потоку CO_2 на рівні m_{pid} досягається можливість визначення його потужності:

$$N = kP_{\text{pid}}VRT, \text{ Вт} \quad (6)$$

і об'ємного потоку, задіяного в енергетичному імпульсі:

$$V_{z.p.} = kV_{\text{pid}}RT, \text{ м}^3/\text{с} \quad (7)$$

де $R = 189,0 \text{ Дж}/(\text{кг}\times\text{К})$ — газова стала діоксиду вуглецю; $V_{z.p.}$ — об'ємний потік газової фракції, що відповідає масовому потоку m_{pid} .

Для подальших міркувань звернемося до аналізу таблиці, що відображує розчинність CO_2 в різних середовищах. Залежність значень c_n в них представлена у формі функції температури і тиску і залежність $c_n = c_n(P)$ є лінійною, а кожний стовпчик за значення $P = 1$ бар відповідає величині константи Генрі k . Це означає, що за використання різних розмірностей тиску добуток kP у формулах (5) і (6) відповідає величині c_n з розмірністю $\text{кг}/\text{м}^3$.

У підрахунках значень потужності за умовою (6) виберемо значення параметрів $V_{\text{pid}} = 0,0003 \text{ м}^3/\text{с}$, $T = 283, 298, 303 \text{ К}$. Тоді відповідно маємо за $P = 5$ бар для вина:

$$N_{10.} = 13,11 \cdot 0,0003 \cdot 189 \cdot 283 = 210,2 \text{ Вт};$$

$$N_{20.} = 9,78 \cdot 0,0003 \cdot 189 \cdot 293 = 162,5 \text{ Вт};$$

$$N_{30.} = 7,51 \cdot 0,0003 \cdot 189 \cdot 303 = 129,0 \text{ Вт};$$

Одержані результати зниження енергетичних імпульсів є реакцією системи у формі зниження розчинності CO_2 у зв'язку з підвищенням температури оброблюваних середовищ. За вказаного значення $V_{\text{pid}} = 0,0003 \text{ м}^3/\text{с}$ годинна продуктивність системи складе:

$$M_{\text{pid}} = 3600 \cdot V_{\text{pid}} = 3600 \cdot 0,0003 = 1,1 \text{ м}^3 / \text{год.},$$

а загальні енергетичні впливи для вказаних випадків відповідають значенням:

$$E_{10.} = 3600 \cdot N_{10.} = 756720 \text{ Дж} = 756,2 \text{ кДж};$$

$$E_{20.} = 3600 \cdot N_{20.} = 584,9 \text{ кДж};$$

$$E_{30.} = 3600 \cdot N_{30.} = 464,5 \text{ кДж}.$$

Перехід до тисків $P = 10$ бар за інших рівних умов приводить до значень:

$$N_{10.} = 26,23 \cdot 0,0003 \cdot 189 \cdot 283 = 420,9 \text{ Вт};$$

$$N_{20.} = 99,56 \cdot 0,0003 \cdot 189 \cdot 293 = 336,0 \text{ Вт};$$

$$N_{30.} = 15,1 \cdot 0,0003 \cdot 189 \cdot 303 = 257,9 \text{ Вт}.$$

Загальні енергетичні впливи за одну годину роботи становлять:

$$E_{10.} = 1515,2 \text{ кДж};$$

$$E_{20.} = 1209,7 \text{ кДж};$$

$$E_{30.} = 928,3 \text{ кДж}.$$

Наведені енергетичні показники мають теоретичне завищення у зв'язку з тим, що повна десорбція газової фракції не відбувається і залежить у тому числі від остаточного тиску у вакуумній камері. Однак навіть в представлених значеннях технологія обробки ягідно-сокової суміші заслуговує на увагу.

Інший наслідок сатурації середовища пов'язаний з обмеженням негативних впливів розчиненого кисню, який вступає у контакт з сушлом відразу після подрібнення і стає ка-

талізатором активності природних ферментів. Останні, як відомо, окислюють молекули фенольних речовин до рівня хінонів з утворенням коричневих полімерів у суслі та вині. Подальші їх перетворення характеризуються значною розгалуженістю, тому кисень є небажаною складовою, у зв'язку з чим технології з обмеженим контактуванням середовищ з повітрям знаходяться у процесі розвитку. Очевидно, що запропонована технологія сатурації-десатурації має обмежувальні впливи на концентрацію розчиненого кисню. Налаштування системи може бути здійснено таким чином, щоб мінімізувати присутність O_2 і забезпечити номінальну концентрацію CO_2 на наступних етапах.

Висновки. Виконаний аналіз технологій, пов'язаних з одержанням соків та напоїв показав можливість інтенсифікації і збільшення виходу соку з плодів ягід, фруктів і овочів за рахунок переведення оброблюваних середовищ до термодинамічно незрівноважених станів, за яких створюються фазові переходи або аналоги фазових переходів.

Фазові переходи супроводжують дискретно-імпульсні технології, фізичним підґрунтям яких є різниця температур середовищ в перегрітому стані і в стані рівноваги за зниженим тиском. Генеровані енергетичні імпульси в таких адіабатних переходах супроводжуються генеруванням парової фракції з фізичною дією на всі складові оброблюваних середовищ. Переведення останніх до незрівноважених станів здійснюється різким зниженням тисків від значень, більших за атмосферний, до атмосферних або від значень атмосферних до більш низьких за рахунок вакуумування.

У запропонованій технології аналога фазових переходів у виробництві виноматеріалів пропонується поєднання двох факторів переведення середовищ до незрівноважених станів за рахунок їх сатурації в умовах підвищених тисків і десатурації вакуумуванням неперервних потоків.

Теоретична частина реалізації запропонованої технології підтверджена лабораторними дослідженнями і стосується підвищення виходу цільової продукції та обмеження вмісту розчиненого кисню в одержаних виноматеріалах.

Список літератури

1. Цимбалюк К. А. Виноградарсько-виноробна галузь — стан та проблемні питання розвитку в Україні. *Інтелект XXI*. 2018. №1. С. 145–150.
2. Боремський А. С. Проблемні питання розвитку виноградно-виноробної галузі України і шляхи їх вирішення. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2014. Т. 20. № 3. С. 71–75.
3. Попова М. М. Сучасний стан виноградарства і виноробства України та роль її окремих регіонів у розвитку галузі. *Бізнес Інформ*. 2014. № 7. С. 136–142.
4. Виноробна промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід: наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олабоді]; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2019. 182 с. URL : <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/29952/1/vino.pdf>.
5. Герус Л. В., Ковальова І. А. Оцінка та створення нового вихідного матеріалу для селекції на посухостійкість. *Виноградарство і виноробство*. 2016. № 53. С. 67–73.
6. Воєвода Н. В., Шинкарук М. В., Панасенко М. М. Перспективи використання нових сортів винограду у виробництві вин в умовах фермерського (селянського) господарства «Курінь». *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. Том 31 (70). № 5. С. 178–183. doi : <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/29>.
7. Виноградов В. А. Об использовании вибрации для интенсификации суслоотделения. *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2014. № 1. С. 25–26.
8. Виноградов В. А., Загоруйко В. А., Сильвестров А. В. Выбор дозы газа при флотационном осветлении виноградного сусла. *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2006. №–3. С. 38–40.
9. Соколенко А. І. та ін. Інтенсифікація тепломасообмінних процесів в харчових технологіях: монографія / під ред. д-ра техн. наук, проф. А. І. Соколенка. Київ: Фенікс, 2011. 536 с.

References

1. Tsymbaliuk, K. (2018). *Vinogradarsko-vinorobna galuz — stan ta problemni pitannya rozvytku v Ukrayini* [Viticulture industry — state and development issues in Ukraine]. *Intelekt XXI* [Intellect XXI], no.1, pp. 145–150.
2. Boremskiy, A. S. (2014). *Problemni pitannya rozvytku vinogradno-vinorobnoyi galuzi Ukrayini I shlyahi yih virishennya* [Problematic issues of development of the grape and wine industry of Ukraine and ways to solve them]. *Naukovi pratsi Natsionalnogo universitetu harchovih tehnologiy* [Scientific works of the National University of Food Technologies], no. 3 (20), pp. 71–75.
3. Popova, M. M. (2014). *Suchasniy stan vinogradarstva i vinorobstva Ukrayini ta rol yiyi okremih regioniv u rozvytku galuzi* [The current state of viticulture and winemaking in Ukraine and the role of its individual regions in the development of the industry]. *Biznes Inform* [Business Inform], no. 7, pp. 136–142.
4. Olabodi O. V. (2019). *Vinorobna promislovist: traditsiyi ta innovatsiyi. Vitchiznyaniy ta svitoviy dosvid* [Wine industry: traditions and innovations. Domestic and world experience]. 182 p. Retrieved from <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/29952/1/vino.pdf>.
5. Gerus, L. V., Kovalova, I. A. (2016). *Otsinka ta stvorennya novogo vihidnogo materialu dlya selektsiyi na posuhostiykist* [Evaluation and creation of a new source material for selection for drought resistance]. *Vinogradarstvo i vinorobstvo* [Viticulture and winemaking], no. 53, pp. 67–73.
6. Voievoda, N. V., Shinkaruk, M. V., Panasenko, M. M. (2020). *Perspektivi vikoristannya novih sortiv vinogradu u virobnitstvi vin v umovah fermerskogo (selyanskogo) gospodarstva «Kurin»*. [Prospects of use of grape new varieties in wine production in the conditions of farm (agricultural) household “Kurin”], *Vcheni zapiski TNU imeni V. I. Vernadskogo. Seriya: tehnicni nauki* [Scientific notes of TNU named after V. I. Vernadsky. Series: technical sciences], vol. 31 (70), no. 5, pp. 178–183. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/29>.
7. Vinogradov, V. A. (2004). *Ob ispolzovanii vibratsii dlya intensifikatsii suslootdeleniya* [On the use of vibration to intensify wort separation]. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie* [Magarach. Viticulture and winemaking], no. 1, pp. 25–26.
8. Vinogradov, V. A., Zagoruyko, V. A., Silvestrov, A.V. (2006). *Vyibor dozyi gaza pri flotatsionnom osvetlenii vinogradnogo susla* [Selection of gas dose during flotation clarification of grape must], *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie* [Magarach. Viticulture and winemaking], no. 3, pp. 38–40.
9. Sokolenko, A. I. (2011). *Intensifikatsiya teplomasoobminnih protsesiv v harchovih tehnologiyah* [Intensification of heat and mass transfer processes in food technologies]. Kyiv, Phoenix Publ., 536 p.

Objective is to give a scientific substantiation of the peculiarities of wine production to increase the yield of wort and intensify the processes of their flow based on the preservation of known classical components of grape crushing with separation of ridges, pulp and separation of pulp from wort. Investigate the technological feasibility of using pressing, filtration, etc., the physical basis of which is the transfer of media into an unbalanced thermodynamic state.

Methods. The following was used for research: in-depth analysis of thermodynamic ratios of gas-liquid systems and artificial transfer of media to equilibrium states with potentials of rapid desaturation of dissolved gas fraction.

Results. The positive effect of saturation of the crushed mass under a pressure of 0.3–0.5 MPa at saturation of cells of fruits, berries and vegetables as well as the liquid fraction with saturating gas with a general increase in pressure.

The physical basis of thermodynamic transitions based on the laws of Henry and Mendeleev-Clapeyron solubility is considered, with the representation of the dependences of material fluxes during their transformations and proposals for determining capacities and energy potentials under impulse influences during berry-juice flow through a vacuum chamber.

The effect of a sharp drop in atmospheric pressure in the receiving hopper-tank before pressing, which leads to the complete destruction of cell membranes and to increase the yield of juice from biological raw materials and accelerate the passage of time.

The hardware support of technologies with an estimation of prospects of their expanded use where reception of grape must on the basis of TRZT is reached by double potential of power influence, at the expense of the raised pressures and at the expense of vacuuming is offered.

Information on the solubility of CO₂ in different media is given.

Key words: wine material, intensification, wort yield, unbalanced thermodynamic state, solubility, carbon dioxide, oxygen.

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-110-121

УДК 64.951.3:(681.5:664.8.039.4)(045)

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

Никифоров Р. П., канд. техн. наук, доцент

Коренець Ю. М., старший викладач

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

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО КОПЧЕННЯ РИБНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

UDC 664.951.3:(681.5:664.8.039.4)(045)

*Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering Science,
Professor*

*Nykyforov R. P., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*

Korenets Yu. M., Senior Lecturer

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

IMPROVEMENT OF THE HOT SMOKING OF FISH PRODUCTS USING THE INTELLIGENT WORKING AND TECHNOLOGICAL COMPLEX

Мета. Метою статті є підвищення якості готової продукції шляхом використання інтелектуальних технологій прогнозування оперативному персоналу робочих параметрів гарячого копчення рибної продукції в темні з процесом та розробка інтелектуального робототехнологічного комплексу з імпульсними ультразвуковими інтенсифікаторами процесу дифузії компонентів коптільного диму.

Методи. У статті використані експертні методи досліджень, методи імітаційного моделювання і експериментальних досліджень, які виконані на натурних об'єктах у виробничих умовах. З метою побудови бази знань і бази даних використано методологію системного підходу. Дослідження робочих характеристик копчення рибних продуктів з метою їх прогнозування оператору за допомогою штучних інтелектуальних мереж проводили на експериментальній установці, яка включає: коптільну камеру з генератором диму і системою контролю параметрів CO₂ диму, контур рециркуляції, вентилятор, автоматизовані системи регулювання температури, вологості та швидкості коптільного диму, засоби вимірювання і регулювання технологічних параметрів. З метою контролю та інтелектуального керування інтенсифікацією гарячого копчення в умовах впливу імпульсних ультразвукових коливань на продукт контролювали і вивчали дифузійні явища; дослідили раціональну довжину ультразвукової хвилі та час гарячого копчення; оцінювали параметри CO₂ коптільного диму та органолептичні показники готового продукту.

Надійшла до редакції 08.11.2021 р.

© В. П. Хорольський, Р. П. Никифоров,
Ю. М. Коренець, 2021

Результати. Експертні дослідження бази знань дозволили встановити наступне: імпульсне ультразвукове оброблення рибних продуктів інтенсифікує процес гарячого копчення та прискорює дифузійні явища як у шкірі, так і у внутрішній тканині риби. Найбільш раціональна довжина ультразвукової хвилі є 300 нм. У цій виробничій ситуації забезпечується: мінімальність тривалість процесу гарячого копчення, яка складає 40...45 хв. Важливим параметром, який характеризує кулінарну готовність, є температура в центрі риби, яка повинна бути в межах 68...72°C. Доведено, що рибна продукція, одержана з використанням імпульсного ультразвукового оброблення, має кращі органолептичні показники: час до досягнення кулінарної готовності скорочується на 20 %, продукція характеризується високою харчовою цінністю, добрими споживчими властивостями, високим вмістом білків, жиру та мінеральних речовин. Розроблено інтелектуальний робототехнологічний комплекс виробництва рибопродуктів з нейромережовим прогнозатором температури коптільного диму, швидкості коптільного диму, параметрів CO₂, продуктивності технологічної лінії копчення. Результати лабораторних досліджень показали, що інтелектуальний робототехнологічний комплекс з імпульсним ультразвуковим інтенсифікатором процесу дифузії забезпечує АРМ оператора за допомогою нейромережового регулятора і прогнозатора робочих характеристик обладнання технологічної лінії копчення рибопродуктів оптимальними параметрами регулювання параметрів установки, підвищує її якість керування і є адаптивним по відношенню до умов виконання технологічного процесу копчення різновидів рибних продуктів за рахунок модуля формування оперативних рішень, інтелектуальної системи підтримки прийняття оперативних рішень, цифрової платформи «Іжа», промислового Інтернету-речей, MES, ERP, SCADA систем.

Ключові слова: технологія копчення, інтелектуальні технології, комплекс робототехніки, імпульсний ультразвуковий інтенсифікатор, дифузія, якість продукції.

Постановка проблеми. Постачання населення регіонів з техногенними територіями рибопродуктами високої якості і за доступними цінами залишається головним стратегічним напрямком розвитку рибопереробної промисловості України до 2030 року.

Успішне впровадження сучасних цифрових методів виробництва продукції з застосуванням робототехнологічних комплексів особливо ефективно при виробництві широкого асортименту рибних продуктів.

Саме рибні продукти дуже корисні для смарт-харчування гірників, дітей та воїнів ЗСУ за рахунок вітаміну D (міститься у риб'ячому жирі, печінці тріски, жирних сортах риби) та профілактики серцево-судинних захворювань у населення регіонів з техногенним тиском. Експерти з питань харчування рекомендують вживати вітамін D кожного дня працівникам гірничо-металургійного комплексу в дозах від 42 до 100 нмоль/л [1].

Експертні дослідження бази знань з джерел [3–8] довели, що виробництво рибних продуктів у полі імпульсних ультразвукових коливань із застосуванням робототехнологічних комплексів дозволяє значно підвищити нутрієнтну адекватність та якість продукції.

У зв'язку з розвитком робототехніки із інтелектуальним рівнем взаємодії виконавчих механізмів з гетерогенним середовищем і автоматизації технології копчення риби з'явилася можливість використовувати морські рибні продукти, коригуючи якість таких виробів за допомогою технологій копчення в полі імпульсних ультразвукових коливань [7].

Таким чином, дослідження і впровадження технологічного обладнання для виробництва рибних продуктів із збагачувальними добавками з застосуванням робототехнологічних інтенсифікаторів є актуальним і практично значущим завданням для науковців харчової галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розробки технологій виробництва здорового харчування з риби та вивчення впливу ультразвукових коливань та технологічне середовище продуктів харчування присвятили праці вітчизняні та закордонні вчені Г. М. Постнов, О. М. Остриков, І. Е. Ельпінер, Й. О. Рогов, В. М. Горбатов, Ю. Ф. Заяс, В. М. Хмельов, Б. Г. Новицький, О. А. Литвиненко, О. І. Некоз, П. М. Немирович, Нао Feng, Gustavo V. Barbosa Canovas, Jochen Weiss. Великий внесок у розвиток моделювання процесів харчових виробництв і показників якості харчових продуктів внесли І. М. Фе-

доткин, Н. В. Остапчук, Є. Л. Алексеев, Г. В. Дейниченко, Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, Д. А. Нечипоренко, Р. Ю. Павлюк, О. В. Яковлев та багато інших.

Проблему харчування населення Кривого Рогу та округ необхідно розглядати з урахуванням впливу екологічних факторів на здоров'я дітей, молоді, робітників підприємств гірничо-металургійного комплексу, що мешкають та працюють в умовах техногенного навантаження. Отже їх раціон харчування повинен володіти певними лікувально-профілактичними властивостями [9].

У процесі вивчення й аналізу наукових праць авторів [1, 3, 4, 5, 6, 7] виявлено такі закономірності:

1. Управлінськими параметрами в процесах соління та копчення риби є компоненти розсолу й копильного диму. Математична модель складу диму в копильній камері повинна стати складовою програмного забезпечення (ПЗ) цифрової програми «Їжа», що дозволяє оптимізувати цей процес за критеріями енергоефективності, вмістом солі та параметрами CO_2 .

2. Важливим параметром керування процесу копчення є температура системи тузлук-розсіл (копчення) — чинник, що найбільш істотно впливає на величину коефіцієнта проникнення диму [5, 6, 7]. Додаткове прискорення копчення можна отримати за умови використання явища ультразвукової дифузії. Використання ультразвукових коливань в технологічному середовищі риба-розсіл-копчення є найбільш перспективним методом інтенсифікації процесу [4, 5, 6, 7].

За рахунок ультразвукових коливань в середовищі виникають кавітаційні бульбашки, розриви температури в незначних обсягах досліджуваних речовин, ударні хвилі тощо.

Під ультразвуковою кавітацією будемо розуміти утворення і активацію газових або парових порожнин (бульбашок) в середовищі, що піддається ультразвуковому впливу [8]. Сучасні технології впливу ультразвукових коливань, розроблені вченими України, найчастіше ґрунтуються на реалізації гетерогенних процесів, що протікають між двома або кількома неоднорідними середовищами в системах «рідина-рідина», «рідина-тверде тіло» [4, 5, 8, 9]. Кавітація і потужні мікропотоки, що її супроводжують, ультразвуковий тиск і ультразвуковий вітер, впливають на середовище, зменшуючи опір перенесенню реагуючих речовин, й інтенсифікують технологічний процес.

Оптимальний вплив імпульсних керованих ультразвукових коливань на процеси масообміну в системі «тверде тіло-рідина» дозволяє збільшити швидкість процесу копчення в 3...5 разів.

Недоліками наведеного вище обладнання за критерієм мінімізації енергоресурсів та впливу технології копчення на навколишнє середовище є:

— відсутність сучасних цифрових систем автоматизованого керування, інформаційних систем контролю та робототехніки в технологічних процесах копчення риби, які б працювали з промисловим Інтернетом-речей (IIoT) у реальному масштабі часу;

— відсутність автоматизованого контролю параметрів вихідних показників процесу копчення та мінімізації впливу обладнання на навколишнє середовище.

Тому необхідно не лише модернізувати існуюче обладнання для копчення риби, а також запропонувати інтелектуальні технології керування процесом копчення рибної сировини з високим рівнем автоматизованих систем контролю й мікропроцесорного керування температурними режимами, процесом копчення, контролю параметрів CO_2 , тривалості процесу копчення та контролю параметрів навколишнього середовища.

Важливим компонентом лінії з виробництва копченої риби є багатостадійність процесу виробництва: підсушування гарячим повітрям, проварювання риби насиченою водною парою за температури $T = 383\text{--}443$ °К, що рухається зі швидкістю 0,1–0,5 м/с, впродовж 25–45 хв.

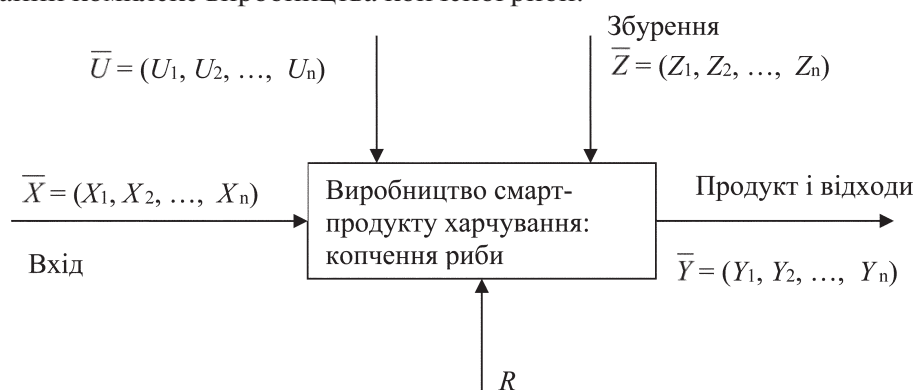
Важливим компонентом процесу копчення є також концентрація копильного диму. При цьому копильний дим одержують при спаленні суміші тирси вільхи, буку, липи, дубу, груші, берези та кори у співвідношенні 25:20:20:15:10:10 [7].

У процесі створення бази знань, одержаної з наукових праць [1, 3, 4, 5, 6, 7, 10], встановлено, що важливими чинниками, які впливають на протікання процесу соління та гарячого копчення і які потрібно враховувати при проектуванні робототехнологічного коптильного обладнання, є швидкість руху коптильного диму на вході в коптильну камеру і характеристичний розмір риби. Технологічні процеси копчення риби характеризуються високими енергетичними затратами, а, отже, знизити енергозатрати на 10–15 % від існуючого рівня можливо за рахунок керованого прискорення процесу дифузії компонентів коптильного диму в глиб риби.

Покращити якість готової рибної продукції можливо за рахунок рівномірного розподілу коптильного диму в товщу (глибину) риби за рахунок розробки та застосування робототехнологічних інтенсифікаторів та обладнання імпульсного ультразвукового оброблення риби, які суттєво скорочують тривалість гарячого копчення.

Метою статті є підвищення якості готової продукції шляхом використання інтелектуальних технологій прогнозування оперативному персоналу робочих параметрів гарячого копчення рибної продукції в темпі з процесом та розробка інтелектуального робототехнологічного комплексу з імпульсними ультразвуковими інтенсифікаторами процесу дифузії компонентів коптильного диму.

Виклад основного матеріалу. Модель технологічного процесу копчення риби представляє собою сукупність функціональних схем, рівнянь, логічних операторів, номограм, таблиць і т. п., за допомогою яких характеристики стану системи визначають в залежності від параметрів процесу, вхідних сигналів і часу. На рис. 1 наведена модель технологічного процесу копчення рибних продуктів, а на рис. 2 наведено розроблений авторами статті роботизований комплекс виробництва копченої риби.



Рисунки 1 — Модель технологічного процесу копчення рибних продуктів

Вхідними параметрами $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ моделі дискретної виробничої системи є риба, додаткові інгредієнти, вода, пара, електрика, тощо для виробництва смарт-продуктів харчування. Вихід цієї системи $\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ представляють показники смарт-продукту харчування і відходи виробництва. Виробничий процес управляється за допомогою АСУТП, MES-, ERP- й SCADA-системами, оперативними і стратегічними планами $\bar{U} = (U_1, U_2, \dots, U_n)$, складеними на основі технологічних показників. Для реалізації цих показників потрібні ресурси (R) у вигляді персоналу і обладнання та технічних засобів (робототехнологічний комплекс з виробництва рибних продуктів). Як відомо [9], технологічні процеси харчових виробництв є достатньо складними багатопараметричними об'єктами з множиною нелінійних зв'язків. Стандартні засоби автоматизації уже не забезпечують належного рівня надійності і швидкодії. У сучасних умовах глобальної конкуренції на ринках країн ЄС необхідно використовувати нові, прогресивні способи контролю і керування якісними показниками копченої рибної продукції.

Найбільш перспективними є системи контролю вихідних параметрів $\{\bar{Y}\}$ на базі використання штучних нейронних систем [9, 11] та інтелектуальних технологій в системах керування робототехнологічними комплексами (робототехнічні маніпулятори завантаження сировини з визначенням оптимальної траєкторії взаємодії імпульсного ультразвукового інтенсифікатора з продуктом, управління часом взаємодії). Використання інтелектуальних технологій у про-

цесах виробництва копченої риби за критерієм мінімізації енергозатрат (газу, електрики, пари) і мінімізації викидів $\{Y_3, Y_4\}$, особливо підтримання концентрації CO_2 в заданих межах, що вимагає від науковців використання штучних нейронних мереж (ШНМ) для прогнозування якості вихідних показників [11].

Отже, для покращення якості керування складним технологічним процесом копчення риби (рис. 2) будемо використовувати: цифрову платформу «Іжа» з програмним забезпеченням

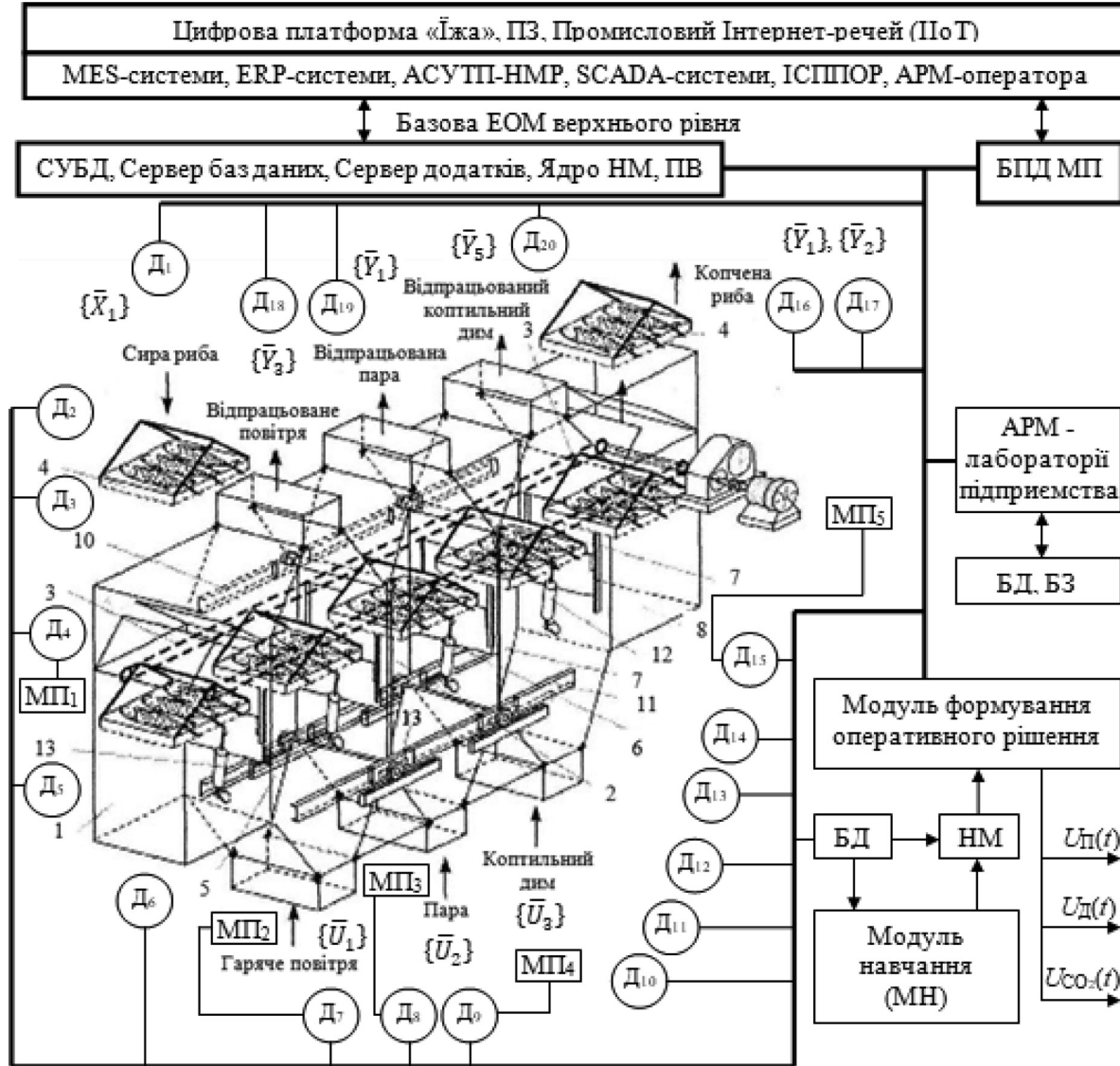


Рисунок 2 — Робототехнологічний комплекс копчення риби з автоматизованими системами керування технологічним процесом: 1 — робототехнологічний комплекс; 2 — робоча камера; 3 — транспортер з ультразвуковою системою імпульсного впливу на продукт; 4 — решітчасті піддони з системою контролю параметрів рибної продукції (D_2); 5 — секція підсушування з системою контролю температурних параметрів; 6 — секція проварювання з системою автоматизованого контролю і регулювання часу проварювання; 7 — секція коптіння з системою автоматизованого контролю та керування процесу коптіння за параметрами температури коптільного диму; 8 — робот камери розвантажування рибопродукту; 9 — вимірювання ваги; 10, 11 — направляючі; 12 — виконуючі механізми з АД-ТПЧ; 13 — трубний вал із системою контролю швидкості руху рибопродуктів у системі РТК (D_5); D_1 – D_{20} — датчики параметрів технологічного процесу копчення риби; МФОР — модуль формування оперативних рішень з блоками БД — база даних, НМ — нейромережа, МН — модуль навчання; МП₁–МП₅ — мікропроцесори керування технологічними агрегатами і апаратами РТК; БПД — блок передачі даних в мікропроцесори (МП₁–МП₅); АРМ — автоматизовані робочі місця оператора та лабораторії підприємства

(ПЗ) автоматизованого управління верхнім рівнем виробничої системи, MES-системи операційного виробництва, ERP-системи управління бізнес-процесами і стратегічного планування, інтелектуальні системи підтримки прийняття операційних рішень (ІСППОР), АСУТП з нейромережевими регуляторами (НМР), а також автоматизовані робочі місця операторів [11].

Із теорії автоматичного управління відомо, що сформувати ідеальне управління \bar{U} можливо, знаючи миттєве значення якобіана — матриці приватних похідних вектора стану копильного апарату (копильної камери) щодо змінних керованих впливів $\{\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3\}$. Метою цієї операції є переведення об'єкта управління (копильного апарату) із поточного стану в бажаний [12]. Одним із найбільших ефективних і зручних щодо реалізації на сучасних мікропроцесорах методів ідентифікації невідомих параметрів багатомірних систем є алгоритм Качмажа [12]. Він дозволяє інтерактивно визначити матрицю A невідомих параметрів лінійної дискретної системи виду:

$$X_K = A^m \bar{U}_K, \quad (1)$$

де X_K — параметри вхідних чинників стану сировини й об'єкту керування; \bar{U}_K — вектор управлінських впливів.

Нейромережева ідентифікація є альтернативою традиційним методам і найбільш підходить для оцінки якобіана при синтезі нелінійних об'єктів — виробництва копченої риби.

Для побудови адекватної динамічної моделі процесу копчення риби необхідно побудувати систему інформаційного забезпечення з датчиками D_1 – D_{20} технологічних змінних, а для оцінки якісних показників копченої риби $\{Y\}$ необхідно розробити гібридну модель нейромережевого прогнозатора і регулятора НМР, якісних показників готового продукту, для яких раніш невідомі вхідні параметри і неможливо побудувати математичну модель, що б враховувала множинні нелінійні зв'язки [13]. У той же час в умовах мінімізації викидів вуглекислого газу CO_2 і керування складним процесом дифузії ультразвукових коливань в рибні продукти в середовищі копильного диму структура розробленого нейромережевого регулятора (НМР) повинна включати: базу даних (БД), модуль навчання (МН), нейромереж (НМ) і модуль формування оперативного рішення. Від системи інформаційного забезпечення з датчиків D_1 – D_{20} (виконаної на базі SCADA-системи) інформація надходить в базу даних. ЕОМ верхнього рівня передає параметри $\{X\}$ в модуль навчання МН, де відбувається навчання нейромережі (НМ).

Разом з вхідними параметрами БД ЕОМ передає в нейромережу також попередні значення параметрів якості копченої риби, поточні значення CO_2 та значення керованих впливів $\{U\}$.

Після цього навчена нейронна мережа за рахунок модуля формування рішення видає рекомендації оператору АРМ та безпосередньо впливає на виконавчі механізми РТК копчення риби, щодо мінімізації поточних параметрів енергоспоживання $E_{\text{пот}} \in E_{\text{мін}}$ та виділення вуглекислого газу $CO_{2\text{ пот}} \in CO_{2\text{ мін}}$. З цією метою локальні системи керування технологічними процесами завантаження, підсушування, проварювання, копчення, зважування, оцінки геометричних розмірів рибної сировини, виконані на базі мікропроцесорних контролерів SCADA-систем (МП₁–МП₃).

На рис. 3 наведено структуру нейромережі, яку використано для прогнозування оператору (АРМ) наступних параметрів: $T_{к.д}(t)$ — температури копильного диму в робочій камері копчення; $Q_k(t)$ — продуктивність секції копчення; $\tau_k(t)$ — тривалість (час, хв.) процесу копчення. Прогнозування цих важливих параметрів оператору виконується в інформаційній автоматичній системі вимірювання параметрів: X_{11} – X_{1n} — параметрів CO_2 ; X_{22} – X_{2n} — контроль процесу копчення; X_{33} – X_{3n} — копильного диму; X_{44} – X_{4n} — управлінські впливи (швидкість копильного диму); X_{55} – X_{5n} — якість сировини (рибного продукту) та її геометричні параметри.

Вхідні параметри:

Автоматичний контроль CO_2 за допомогою датчика концентрації CO 112 KIMO INSTRUMENTS, параметри $\{\bar{X}_{11} \dots \bar{X}_{1n}\}$;

Автоматичний контроль процесу копчення, емнісний датчик температури й відносної вологості диму A2G-70, параметри $\{\bar{X}_{22} \dots \bar{X}_{2n}\}$;

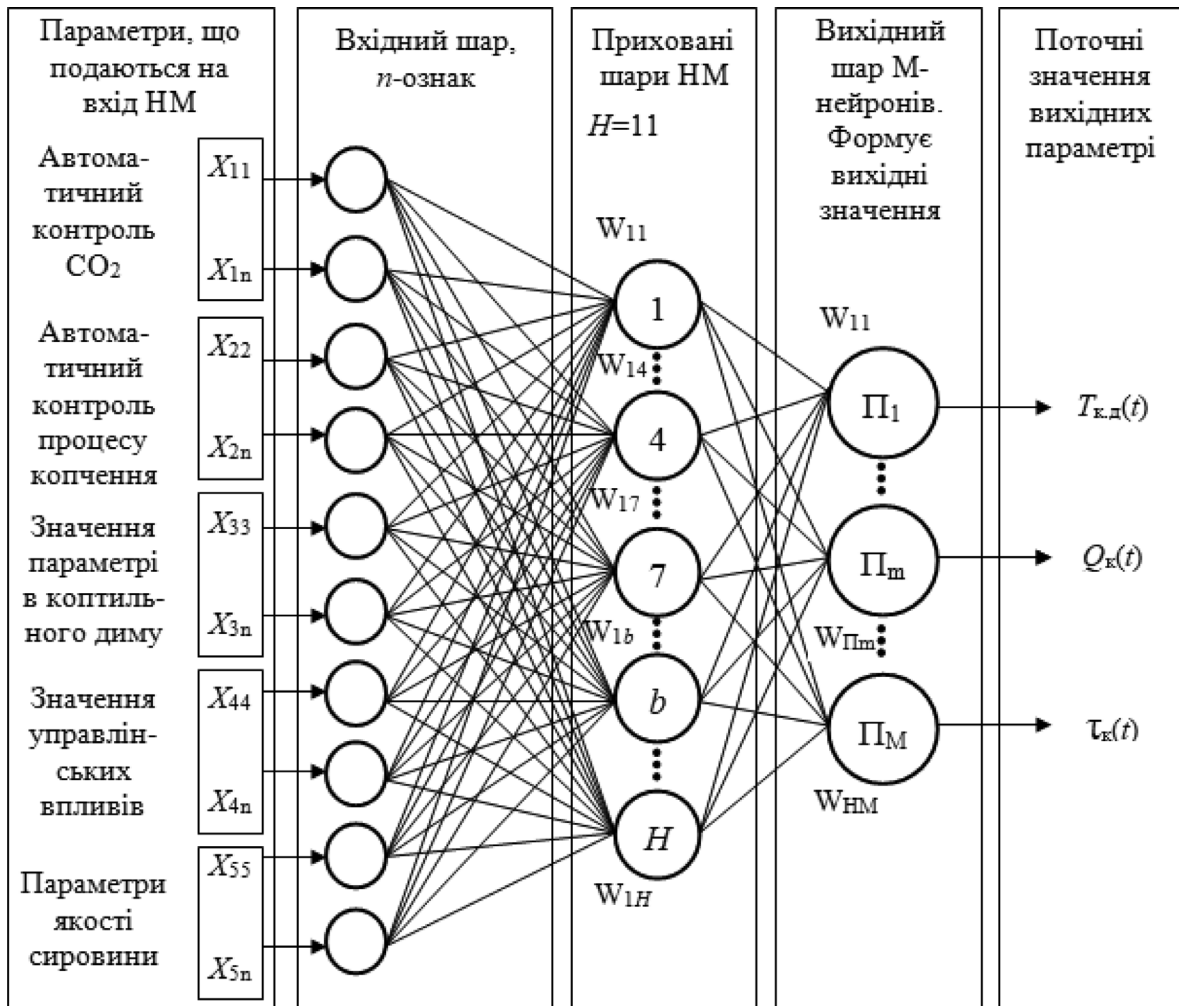


Рисунок 3 — Структура нейронної мережі для прогнозування параметрів копчення: $T_{к.д}(t)$ — оптимальна температура коптільного диму в робочій камері копчення; $Q_k(t)$ — продуктивність секції копчення; $\tau_k(t)$ — оптимальний час копчення

Значення параметрів коптільного диму, параметри $\{\bar{X}_{33} \dots \bar{X}_{3n}\}$;
 Значення управлінських впливів, параметри $\{\bar{X}_{44} \dots \bar{X}_{4n}\}$;
 Параметри якості сировини, параметри $\{\bar{X}_{55} \dots \bar{X}_{5n}\}$.

Навчання мережі проводиться вчителем-експертом, після чого навчена мережа перевіряється на адекватність та якість функціонування. У процесі оцінки працездатності нейромережевої моделі експертним шляхом встановлено, що помилка навчання складає 2,8 %, тобто це значення дозволяє оператору з високим рівнем точності приймати оперативні рішення щодо автоматизованого управління процесом копчення риби з оптимальними параметрами:

- 1) коптільного диму;
- 2) швидкості коптільного диму;
- 3) вологості коптільного диму;
- 4) температури пари на стадії проварювання;
- 5) геометрії сировинного продукту (відношення довжини L до товщини B);
- 6) довжини ультразвукової хвилі;
- 7) часу імпульсного ультразвукового оброблення рибної сировини;
- 8) тривалості інтервалу ультразвукового сигналу оброблення.

Межові припустимі помилки навчання мережі були вибрані на основі експертних оцінок технологів (досвідчених операторів), які відповідають за якість продукції — копченої риби.

Таким чином, використання методу, заснованого на роботі НМ-Р в АСУТП і ІСП-ПОР дозволяє АРМ оператора працювати з набором вхідних параметрів будь-якого рівня

декомпозиції та, головне, враховувати вплив кожного параметру на продуктивність $Q_k(t)$ процесу копчення. Вибір оптимальних управлінських параметрів, $U_n(t)$ — температури пару, $U_d(t)$ — температури копильного диму, $U_{CO_2}(t)$ — вмісту CO_2 , дозволяє оператору мінімізувати енергетичні параметри $E_{\text{копч}}$ та стабілізувати якість продукції. Після навчання НМ-Р за допомогою ПЗ верхнього рівня (MES-системи оперативного планування і керування) виконується автоматичний розрахунок основних величин параметрів $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3 \dots$ для кожного різновиду рибної сировини та прогнозування параметрів $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3 \dots\}$.

Програмне забезпечення (ПЗ) функціонує в локальній мережі, яка включає персональні комп'ютери (автоматизоване робоче місце — АРМ) і два сервери (сервер бази даних й сервер додатків). Програмне забезпечення включає в себе такі компоненти:

1. СУБД — забезпечує збереження усіх баз даних, встановлюється на сервер баз даних. В якості СУБД використовується Oracle Server. Сервер баз даних є системоутворюючим елементом системи і забезпечує функціонування бази даних системи і доступу до неї сервера додатків і робочих станцій.

Сервер додатків реалізує основну функцію системи — оброблення даних контролюємих параметрів ($D_1 - D_{20}$) технологічного процесу копчення риби і прогнозування вихідних показників $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \bar{Y}_4\}$.

2. Програма оцінки якості продукції є обчислювальним ядром системи. Встановлюється на комп'ютер, який виконує функції сервера додатків. Програма має два режими: «Контроль» і «Навчання». Основний режим функціонування «Контроль» виконується постійно. Переведення в режим «Навчання» НМ модуля формування оперативних рішень виконується на початковому етапі роботи робототехнологічного комплексу копчення риби. З метою формування розпізнавальних правил нечіткого виведення для:

а) досягнення задовільних результатів МН прогнозу якості чинників $\{\bar{Y}_1\}$, $\{\bar{Y}_2\}$, $\{\bar{Y}_3\}$, $\{\bar{Y}_4\}$, $\{\bar{Y}_5\}$;

б) для відпрацювання оптимальних $\{\bar{U}_n(t)\}$, $\{\bar{U}_d(t)\}$, $\{\bar{U}_{CO_2}(t)\}$ в умовах переходу на новий вид сировини;

3. Програма візуалізації (ПВ) запускається із комп'ютера АРМ в потрібний час користувачем АРМ. Програма функціонує за технологією «клієнт-сервер» і підключена до серверу баз даних Oracle шляхом ПЗ Oracle Client і відповідного налаштування ODBC-джерел.

Сервер баз даних, сервер додатків, АРМ функціонують на платформі IBM System×3550 з операційною системою Windows 2000/2003. Режим роботи програмного забезпечення:

— сервер баз даних і сервер додатків повинні функціонувати в режимі 24×7;

— автоматизовані робочі місця операторів функціонують в режимах, які відповідають робочому часу операторів.

Програмні модулі системи розроблено в середовищі Microsoft Visual C++ 6 SP 6 та Microsoft Visual C++ 2003 NET.

З метою створення програмного інтерфейсу доступу до БД необхідно застосувати ODBC-з'єднання (Open Database Connectivity), вказавши необхідні параметри доступу — назву мережевого з'єднання з сервером СУБД Oracle, назву бази даних, ім'я користувача і пароль АРМ-оператора.

У табл. 1 наведено результати імітаційного моделювання режимів роботи інтелектуального комплексу робототехнічного управління копченням п'яти сортів риби з експертною оцінкою її якості. Оцінювання якості копченої риби за органолептичними показниками проведені за методикою, розробленою спеціалістами ХДУХТ [4, 5, 6].

Аналіз результатів моделювання для п'яти видів риби дозволяє зробити висновок про достатню ступінь точності роботи інтелектуального комплексу з імпульсним ультразвуковим інтенсифікатором процесів дифузії компонентів копильного диму та прогнозування восьми чинників, які визначають роботу комплексу. Результати роботи інтелектуального робототехнологічного комплексу можуть бути використані в режимі підтримки прийняття оперативних рішень (ІППОР) при управлінні процесом копчення різних сортів риби з мінімізацією впливу CO_2 на навколишнє середовище та опти-

Таблиця 1 — Результати роботи інтелектуального комплексу копчення риби в робототехнічній системі виробництва рибопродуктів

Номер партії та вид риби	Фактори для навчання мережі НМ-Р							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Значення факторів	Температура копильного диму: 348...358 К	Швидкість руху копильного диму: 0,1...0,5 м/с	Вологість копильного диму: 40...60%	Температура пари на стадії проварювання: 374...382 К	Геометрія сировинного рибного продукту (відношення довжини L до товщини B): 3,0...5,0	Довжина ультразвукової хвилі: 200, 250, 300, 350, 400 нм	Імпульсного ультразвукового оброблення: 4, 6, 8, 10, 12 с	Тривалість інтервалу між ультразвукового обробкою: 3, 5, 10, 15 хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
відмінна якість копченої риби								
1 (скупб-рія)	350	0,25	45	375	3,0	250	10	5
2 (горбу-ша)	352	0,26	48	380	3,9	300	12	10
3 (сом)	351	0,31	50	378	4,2	350	10	15
4 (минтай)	353	0,35	55	380	3,1	350	12	15
5 (лящ)	354	0,48	52	379	4,25	200	8	12
добра якість копченої риби								
1 (скупб-рія)	350	0,35	50	380	3,1	350	12	15
2 (горбу-ша)	350	0,38	50	385	3,5	350	12	
3 (сом)	355	0,40	55	382	3,5	350	12	15
4 (минтай)	358	0,42	56	380	4,0	350	12	15
5 (лящ)	355	0,45	55	382	4,5	355	12	15
задовільна якість копченої риби								
1 (скупб-рія)	356	0,47	58	380	4,5	400	8	10
2 (горбу-ша)	358	0,47	58	380	4,2	400	8	10
3 (сом)	358	0,48	58	380	4,6	400	8	10
4 (минтай)	356	0,49	58	380	4,8	400	8	5
5 (лящ)	350	0,50	58	380	4,7	400	6	5

мальними параметрами енергозатрат (пари, газу, електрики) і параметрами кулінарної готовності рибної продукції.

Висновки. Розроблено інтелектуальний робототехнологічний комплекс виробництва рибопродуктів з нейромережовим прогнозатором температури копильного диму, швидкості копильного диму, параметрів CO₂, продуктивності технологічної лінії копчення. Результати лабораторних досліджень показали, що інтелектуальний робототехнологічний

комплекс з імпульсним ультразвуковим інтенсифікатором процесу дифузії забезпечує АРМ оператора, за допомогою нейромережевого регулятора і прогнозатора робочих характеристик обладнання технологічної лінії копчення рибопродуктів, оптимальними параметрами регулювання параметрів установки, підвищує якість керування нею та є адаптивним по відношенню до умов виконання технологічного процесу копчення різновидів рибних продуктів за рахунок модуля формування оперативних рішень, інтелектуальної системи підтримки прийняття оперативних рішень, цифрової платформи «Іжа», промислового Інтернету-речей, MES, ERP, SCADA систем.

Доведено, що рибна продукція одержана з використанням імпульсного ультразвукового оброблення має кращі органолептичні показники: час до досягнення кулінарної готовності скорочується на 20%, продукція характеризується високою харчовою цінністю, добрими споживчими властивостями, високим вмістом білків, жиру та мінеральних речовин.

Список літератури

1. Абрамова Л. С. Поликомпонентные продукты питания на основе рыбного сырья. Москва : Изд-во ВНИРО, 2005. 175 с.
2. Тутельян В. А. и др. Научные основы здорового питания. Москва : Панорама, 2010. 816 с.
3. Бредихин С. А. Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств. Москва : Колос, 2005. 464 с.
4. Постнов Г. М., Яковлев О. В., Червоний В. М., Зубрев А. С. Особенности использования ультразвуковых технологий под час попередньої обробки рибної сировини. *Recueil des exposes des participants de la VIII Conferense international scientifique et methodique "Les problemes contemporains de la technospere et de la formation des cadres d'ingenieurs"*: du 28 septembre au 05 octobre 2014 a Hammamet — Donetsk UNTD (Туніс). Hammamet — Donetsk, 2014. С. 120–124.
5. Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М., Нечипоренко Д. А. Визначення інтенсивності випромінювання акустичної потужності ультразвукової установки. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. праць. Харків : ХДУХТ, 2009. Вип. 1(9). С. 238–243.
6. Постнов Г. М., Яковлев О. В., Червоний В. М., Чеканов М. А. Енергетичний вплив ультразвукової обробки на інтенсифікацію процесу соління океанічної риби. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 166. С. 180–186.
7. Остриков А. Н., Черноусова Н. Ю. Комплексная оценка качества рыбной продукции горячего копчения, полученной с использованием импульсной ультразвуковой обработки. *РЫБПРОМ*. Москва, 2009. № 2. С. 40–41.
8. Хорольський В. П., Серебренников В. М., Коренець Ю. М. Математичне моделювання дифузії пасивної домішки в рідкому середовищі під впливом ультразвуку. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. Хмельницький, 2020. № 5 (289). С. 296–301.
9. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : Видавець ФОП Чернявський Д. О., 2021. 312 с.
10. Остриков А. Н., Шевцов А. А., Черноусова Н. Ю. Способ автоматического управления процессом горячего копчения рыбы: пат. 2308836 РФ. № 2006112070/13; заявл. 11.02.2006; опубл. 27.10.2007, Бюл. № 30.
11. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону : монографія / за заг. ред. В. П. Хорольського, О. Б. Чернеги. Кривий Ріг : видавець ФОП Чернявський Д. О., 2020. 564 с.
12. Болонкин В. Е., Чинаев П. И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. Алгоритмы и программы. Москва : Радио и связь, 2019. 248 с.

13. Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. в 5 т. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / под. ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 784 с.

References

1. Abramova, L. S. (2005). *Polikomponentnyie produkty pitaniya na osnove rybnogo syirya* [Multicomponent food products based on fish raw materials], Moscow, VNIRO Publ., 175 p.
2. Tutelyan, V. A. et al. (2010). *Nauchnyie osnovyi zdorovogo pitaniya* [Научные основы здорового питания]. Moscow, Panorama Publ., 816 p.
3. Bredihin, S. A. (2005). *Tehnologicheskoe oborudovanie rybopererabatyivayuschih proizvodstv* [Technological equipment for fish processing industries], Moscow, Kolos Publ., 464 p.
4. Postnov, H. M., Yakovliev, O. V., Chervonyi, V. M., Zubriev, A. S. (2014). *Osoblyvosti vykorystannia ultrazvukovykh tekhnologii pid chas poperednoi obrobky rybnoi syrovyny* [Features of the use of ultrasonic technologies in the preliminary processing of fish raw materials], *Modern Problems of the Technosphere and the Training of Engineers*, Proceedings of the International Conference, Hammamet — Donetsk, September 28 — October 5 2014. Hammamet — Donetsk, pp. 120–124.
5. Postnov, H. M., Chekanov, M. A., Chervonyi, V. M., Nechyporenko, D. A. (2009). *Vyznachennia intensyvnosti vprominiuvannia akustychnoi potuzhnosti ultrazvukovoi ustanovky* [Determination of the radiation intensity of the acoustic power of an ultrasonic installation]. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli* [Progressive technology and technology of food production, restaurant industry and trade], 1(9), pp. 238–243.
6. Postnov, H. M., Yakovliev, O. V., Chervonyi, V. M., Chekanov, M. A. (2015). *Enerhetychnyi vplyv ultrazvukovoi obrobky na intensyfikatsiiu protsesu solinnia okeanichnoi ryby* [The energetic effect of ultrasonic treatment on the intensification of the salting process of ocean fish], *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka* [Bulletin of the Petro Vasilenko Kharkiv National Technical University of Agriculture], no. 166. pp. 180–186.
7. Ostrikov, A. N., Chernousova, N. Yu. (2009). *Kompleksnaya otsenka kachestva rybnoy produktsii goryachego kopcheniya, poluchennoy s ispolzovaniem impulsnoy ultrazvukovoy obrabotki* [Comprehensive assessment of the quality of hot smoked fish products obtained using pulsed ultrasonic processing], *RYIBPROM* [RYIBPROM], no. 2, pp. 40–41.
8. Khorolskiy, V. P., Serebrenykov, V. M., Korenets, Yu. M. (2020). *Matematychni modeliuvannia dyfuzii pasyvnoi domishky v rikdomu seredovyshchi pid vplyvom ultrazvuku* [Mathematical modeling of the diffusion of a passive impurity in a liquid medium under the influence of ultrasound]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical science], no. 5 (289), pp. 296–301.
9. Khorolskiy, V. P., Korenets, Yu. M., Serebrenykov, V. M. (2021). *Avtomatyzovani systemy keruvannia vyrobnytstvom smart-produktiv kharchuvannia* [Automated production control systems for smart products]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O. Publ., 312 p.
10. Ostrikov, A. N., Shevtsov, A. A., Chernousova, N. Yu. (2007). *Sposob avtomaticheskogo upravleniya protsessom goryachego kopcheniya ryby* [Method of automatic control of the process of hot smoking of fish], RU Patent 2308836.
11. Horolskiy, V. P. et al. (2020). *Tsifrovi systemy intelektualnogo upravlinnya pidpnyemstvami promyslovogo kompleksu regionu* [Digital systems of intellectual management of enterprises of the industrial complex of the region]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O. Publ., 564 p.
12. Bolonkin, V. E., Chinaev, P. I. (2019). *Analiz i sintez sistem avtomaticheskogo upravleniya na EVM. Algoritmy i programmy* [Analysis and synthesis of automatic control systems on a computer. Algorithms and programs]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 248 p.
13. Pupkov, K. A. (2004). *Metodyi sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of modern theory of automatic control]. Moscow, Publishing House of MSTU, 784 p.

Objective. The purpose of the article is to improve the quality of finished products through the use of intelligent forecasting technologies by operational personnel of the parameters of hot smoking of fish products in the technological process and the development of an intelligent robotic complex with pulsed ultrasonic amplifiers of smoke components.

Methods. The article uses experimental and analytical research methods, methods of simulation, which are made on full-scale objects in production conditions. In order to build a knowledge base and database, a methodology of a systems approach was used. The study of the working characteristics of smoking fish products in order to predict them for the operator using artificial intelligent networks was carried out on an experimental setup, including: a smoking chamber with a smoke generator and a system for controlling the parameters of CO₂ smoke, a recirculation loop, a fan, automated systems for regulating temperature, humidity and smoke rate, means for measuring and adjusting technological parameters. In order to control and intelligently control the intensification of hot smoking under conditions of exposure to pulsed ultrasonic vibrations on the product, the diffusion phenomena were monitored and studied; investigated the rational length of the ultrasonic wave and the time of hot smoking; assessed the parameters of CO₂ smoke and the organoleptic characteristics of the finished product.

Results. Expert studies of the knowledge base have established the following: pulsed ultrasonic treatment of fish products intensifies the process of hot smoking and accelerates the diffuse phenomena in both the skin and the inner tissue of the fish. The most rational ultrasonic wavelength is 300 nm. In this production situation, the following is ensured: the minimum duration of the hot smoking process, which is 40...45 min. An important parameter that characterizes culinary readiness is the temperature in the center of the fish, which should be in the range of 68...72 °C. It is proved that fish products obtained using pulsed ultrasonic treatment have the best organoleptic characteristics: the time to reach culinary readiness is reduced by 20%, the products are characterized by high value, good consumer properties, high content of proteins, fat and minerals. An intelligent robotic complex for the production of fish products with a neural network predictor of smoke temperature, smoke rate, CO₂ parameters, productivity of the smoking process line has been developed. The results of laboratory studies showed that the intelligent robotic complex with pulsed ultrasonic diffusion intensifier provides the operator's workstation with a neural network regulator and a predictor of operating characteristics of the equipment of the technological line of smoking fish products. technological process of smoking varieties of fish products due to the module of formation of operational decisions, intelligent decision support system, digital platform "Food", industrial Internet of Things, MES, ERP, SCADA systems.

Key words: smoking technology, intelligent technologies, robotics complex, pulsed ultrasonic intensifier, diffusion, product quality.

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-122-130

УДК 621.561.59(075.8);664.512.011

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

Коренець Ю. М., старший викладач

Гончаренко В. А., канд. техн. наук

Яровий Д. В., здобувач ОС магістра

Расчехмаров І. В., здобувач ОС бакалавра

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

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БАГАТОРІВНЕВОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

UDC 621.561.59(075.8);664.512.011

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of Engineering Science,
Professor*

Korenets Yu. M., Senior Lecturer

Honcharenko V. A., PhD in Engineering

Yaroviyi D. V., a graduate of a master's degree

Raschekhmarov I. V., a graduate of a bachelor degree

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

THEORETICAL BASIS OF MULTI-LEVEL AUTOMATED CONTROL OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS

Мета. Метою статті є розробка багаторівневих автоматизованих систем керування процесами холодозабезпечення камер промислових холодильників шляхом використання інтелектуальних технологій.

Методи. У процесі досліджень використано сукупність теоретичних, методологічних і практичних задач, пов'язаних зі створенням багаторівневих комплексів автоматизованого керування параметрами холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників. Поставлені в статті задачі вирішені з використанням методологічних основ проектування автоматизованих систем підтримки і прийняття рішень, основних положень теорії автоматизованого управління, теорії нейронних систем, загальних принципів теорії систем, елементів теорії штучного інтелекту, методів діагностики візуального моделювання Simulink та SCADA-систем.

Результати. У статті доведено, що системи багаторівневого автоматизованого керування холодозабезпеченням камер промислових холодильників доцільно проектувати з урахуванням інтелектуальних технологій управління процесами охолодження-заморожування продуктів харчування. Запропоновано багаторівневу систему автоматизації сучасних промислових холодильників з автоматизованими робочими місцями (АРМ) оператора-холодильщика та диспетчера, інформаційною системою моніторингу стану обладнання, програмного забезпечення, системи інтелектуальних датчиків, що в режимі реального часу і візуалізації з центром інтелектуального управління забезпечує оптимальні режими холодопостачання холодильних камер з метою збереження корисних властивостей смарт-продуктів харчування, збільшення терміну їх зберігання та мінімізацією енергетичних витрат.

Ключові слова: холодозабезпечення, автоматизація, система, багаторівневність, інтелектуалізація, діагностика.

Надійшла до редакції 18.10.2021 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,
В. А. Гончаренко, Д. В. Яровий,
І. В. Расчехмаров, 2021

Постановка проблеми. Четверта промислова революція, яку називають «Індустрія 4.0» тісно пов'язана зі створенням цифрових виробництв, які забезпечують кардинальне підвищення продуктивності та якості харчової продукції. Цифрові технології проєкту «Індустрії 4.0» використовують Промисловий Інтернет речей (IIoT), технології великих даних й хмарних обчислень, методи штучного інтелекту.

Методи штучного інтелекту [1] знаходять використання в системах управління складними технологічними процесами охолодження, заморожування продукції та її зберігання.

Основними завданнями таких систем є збереження корисних властивостей продуктів, збільшення термінів їх зберігання та мінімізація енергетичних витрат. Збереження продуктів харчування в холодильних камерах промислових холодильників є одним із важливих етапів технологічного процесу забезпечення населення продуктами здорового харчування. Тому автоматизація цих процесів є актуальною проблемою цифрового інтелектуального управління промисловими холодильниками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні математичним забезпеченням автоматизації технологічних процесів холодозабезпечення підприємств-холодильників у харчовій промисловості в науковому плані займаються такі вчені: І. Г. Чумак, В. І. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський [2], С. М. Василенко, В. І. Павелко, А. В. Форсюк, М. М. Масліков [3], О. С. Тітлов, С. Ф. Горикін [4], П. І. Дячек [5] та інші.

Активні дослідження щодо використання інтелектуальних систем керування холодильними установками проведені вченими зарубіжних країн, якими спроектовані сучасні системи автоматизованого управління процесами холодопостачання за критерієм мінімізації енергоспоживання холодильними машинами [6].

Утім методи штучного інтелекту досі не використовувались в системах холодозабезпечення промислових холодильників з N видами продукції із-за складності рішення задачі та вимагають проведення додаткових досліджень в наведеній сфері.

У статті розглянуто методи інтелектуалізації складних технологічних процесів зберігання продукції, опис яких практично відсутній у відомих бібліографічних джерелах. Такі методи базуються на автоматизації управлінських функцій оператора-холодильщика і дозволяють забезпечити технології заморожування продуктів харчування з мінімізацією втрат їх якості.

Метою статті є розробка багаторівневих автоматизованих систем керування процесами холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника шляхом використання інтелектуальних технологій.

Виклад основного матеріалу. Ідея використання інтелектуалізації в системі управління процесами холодопостачання, керування процесами охолодження та заморожування продуктів харчування полягає у створенні об'єднаної інформаційним процесом сукупності технічних засобів, програмного забезпечення, автоматизованих робочих місць операторів-технологів, алгоритмів керування, баз даних, правил і знань та управлінні траєкторією виробництва холоду в реальному масштабі часу за допомогою ЕОМ.

Такі системи не лише оптимізують режими роботи холодильних машин та режимів холодопостачання, але і за рахунок використання мікропроцесорних систем керування (нижній рівень), АРМ АСУТП холодильної ланки (середній рівень), ситуаційних центрів інтелектуального управління (ЦІУ) (верхній рівень) та програмного забезпечення (ПЗ), БЗ, БП, БОД, алгоритмів нечіткого керування з нечіткими регуляторами з інтелектуальними пристроями вимірювання та інтелектуальними виконавчими механізмами, відпрацьовують операції пуску-зупинки холодильних машин (ХМ), контролю, сигналізації, розпізнавання технологічних ситуацій, аварій та аварійних ситуацій, а, отже, мінімізують затрати енергії та вплив на навколишнє середовище у виробництві холоду. Інтелектуальна система управління промисловим холодильником наведена на рис. 1.

Якщо для виробництва холоду проєктанти використовують парокompресійні холодильні машини, то інженерне обладнання повинно включати наступні локальні системи керування:

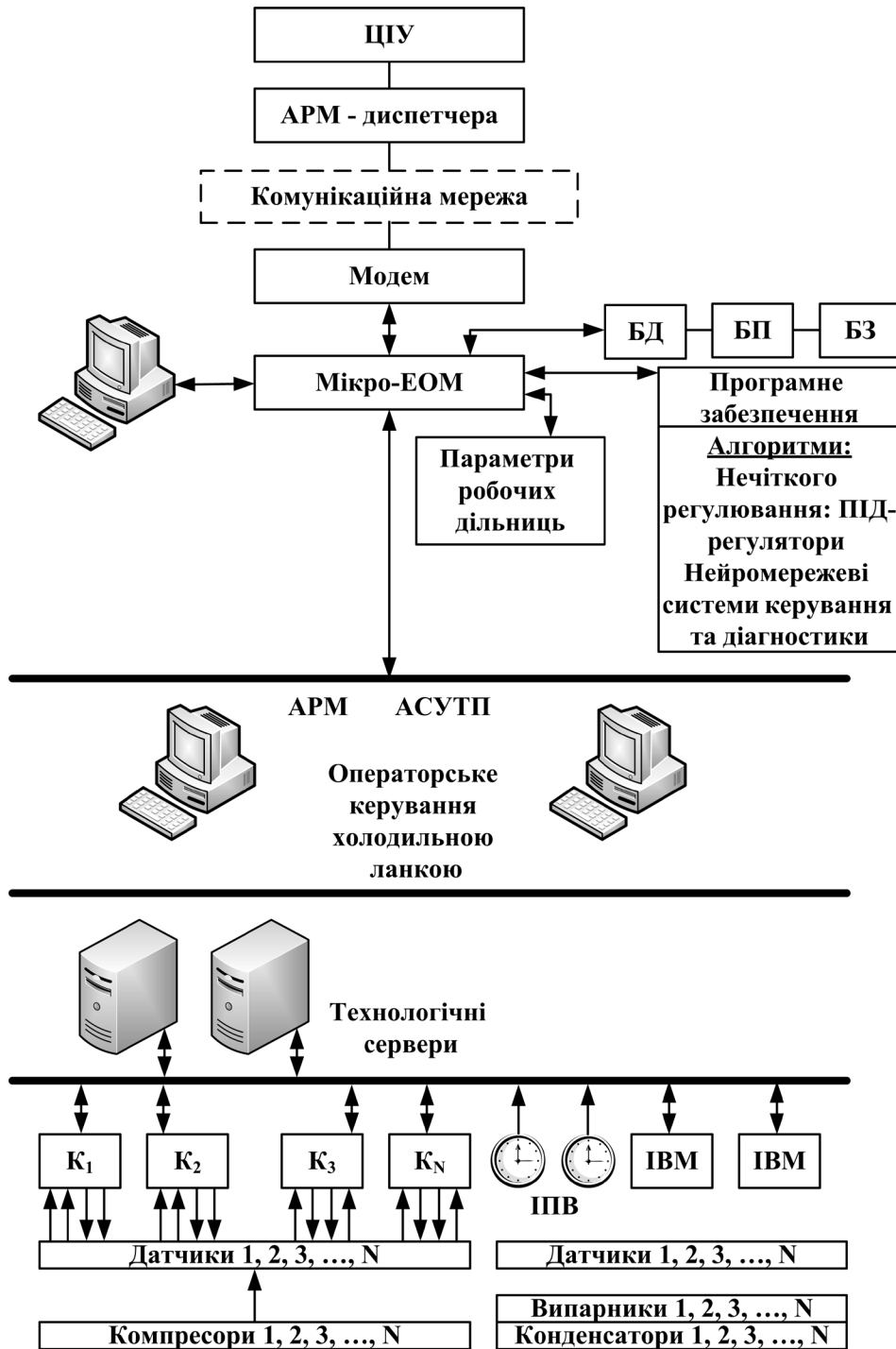


Рисунок 1 — Загальна функціональна схема автоматизації сучасного промислового холодильника (холодильної ланки): ЦІУ — центр інтелектуального управління; ІВМ — інтелектуальні виконавчі механізми; ІПВ — інтелектуальні пристрої вимірювання

- системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора або групи компресорів;
- систему автоматичного керування роботою випарника і конденсатора;
- система пуску компресора (компресорів);
- захист від перегріву і перевантаження компресора і обладнання ХМ;
- захист від низького тиску системи;
- комплект апаратури для вимірювання параметрів: комплект манометрів, термометрів для візуального контролю тиску і температури в компресорі та апаратах холодильної

машини; вимірювальні вікна для візуального контролю рівня холодильного агента у випарнику та конденсаторі;

- систему перевірки напрямку обертання ротора компресора;
- систему контролю і регулювання параметрів змашування компресора;
- систему контролю і керування режимом роботи вентиляторів повітряного або водяного насосів конденсаторів;
- захист від швидкого повторного включення компресора при циклічному режимі його роботи;
- систему підігріву картера компресора в зимовий період;
- систему захисту випарника від заморожування і прогрівання його при замерзанні;
- мікропроцесорні системи автоматизації і контролю роботи компресора та обладнання ХМ, у тому числі регулювання за допомогою терморегулюючого вентиля ступеня перегріву холодоагенту після випарника;
- систему контролю стану і ступеня очищення холодоагенту;
- сучасні системи сигналізації про відключення та включення компресора (компресорів), про виникнення високого або низького тиску, про роботу вентиляторів (насосів) конденсатора, випадкової затримки включення компресора, стан контурів тощо;
- дисплей для візуалізації режимів роботи компресорів холодильних машин, ПЗ для графічного забезпечення інформацією ОПР та АРМ технолога-оператора;
- систему контролю параметрів гідромодуля, забезпечення циркуляцією води або холодоносія через випарник і подачі їх споживачу холоду;
- засоби контролю параметрів і регулювання температури холодоносія на виході із випарника;
- реле контролю величини потоку холодоносія через випарник (з метою запобігання його замерзанню);
- система автоматизації лінії упорскування рідкого холодоагенту для охолодження гвинтового компресора мокрого стиснення і т.п.

Кожний із перерахованих вище елементів інтелектуальної системи керування нижнього рівня має свої динамічні та статичні робочі характеристики, які потрібно враховувати при проектуванні адаптивних нечітких регуляторів [7], задіяних на нижньому рівні керування холодильними машинами (компресорами, конденсаторами, випарниками).

Схема автоматизованої системи холодопостачання представлена на рис. 2.

Якщо внаслідок діючих зовнішніх і внутрішніх факторів в охолоджуваному приміщенні (контейнері), яке будемо вважати об'єктом регулювання, надійшла додаткова кількість теплоти Q , то температура повітря в ньому підвищиться.

Зміну температури T (збурення для системи автоматичного регулювання) в часі буде зафіксоване датчиком D_r . Сигнал датчика надходить на суматор S_m , який порівнює значення температури в приміщенні зі заданим значенням. У випадку підвищення температури в приміщенні від заданого значення різниця сигналу від давальника і датчика буде, наприклад позитивною, при зниженні — від'ємною. У випадку неузгодження сигнал надходить на регулятор R_r , який формує регулювальний вплив. Регулювальний вплив $y(t)$ прикладається до холодовиробничого комплексу, який збільшує чи зменшує подачу холодоагенту (або холодоносіїв) в прилади охолодження. В результаті цього із приміщення при збільшенні T виноситься надлишкове тепло, а температура повітряного середовища буде зменшуватись. Зміна температури в контрольованому приміщенні знову вимірюється датчиком, сигнал про нове відхилення (неузгодженість) або у ситуації відсутності знову надходить в контур автоматичного регулювання.

Система автоматичного регулювання характеризується безперервним односпрямованим переміщенням сигналу в контурі та корекцією прийнятого рішення щодо результатів впливу на ОР керованого впливу. Повернення інформації в САР щодо прийняття ранішнього рішення за величиною і напрямом дії регулюючого впливу називається зворотним зв'язком (33). Зворотний зв'язок в САР холодопостачання значно підвищує точність керування холодопродуктивністю.

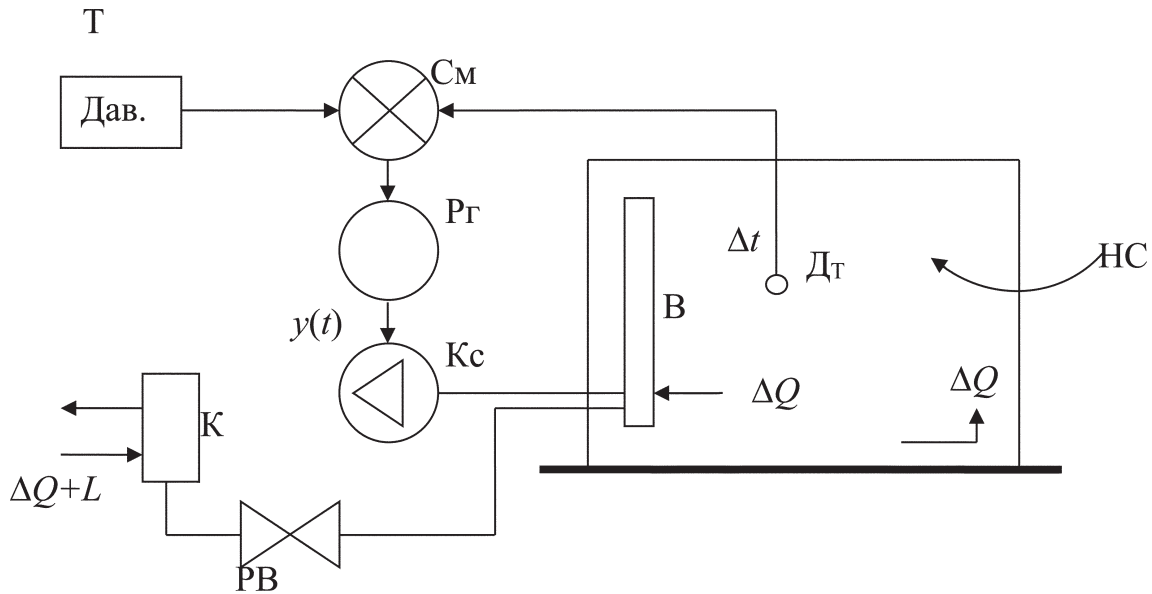


Рисунок 2 — Схема автоматизованої системи холодопостачання:

Кс — компресор; К — конденсатор; В — випарник; РВ — регулюючий вентиль;
 ДТ — датчик температури; Рг — регулятор; См — суматор; Дав. — давальник (задавальник);
 НС — навколишнє середовище

У процесі проектування розподілених нечітких АСУТП виробництва холоду необхідно за допомогою ситуаційного центру інтелектуального управління забезпечити холодопостачання на різних рівнях виробничих ситуацій, а саме:

- ситуація 1 рівня характеризується керуванням лише одним компресором, при цьому забезпечуються функції керування, контролю за безпекою, регулювання холодопродуктивності і втручання ДП-холодильщика у випадку аварійної ситуації (аварії);
- ситуація 2 рівня полягає у керуванні двома компресорами, при цьому до попередніх функцій додається керування узгодженою роботою компресорів;
- ситуація 3 рівня полягає у керуванні машинною залогом, до набору функцій ситуації 2 додаються ще керування та нагляд за роботою насосів для холодильного агента, регулювання сепараторів рідини та теплообмінників;
- ситуація 4 рівня представляє собою управління всією ХМ, включаючи контури охолодження, що створює додаткові функції (розморожування випарників, контроль за температурою, тиском і т. п., а також захист ХМ від аварійних ситуацій).

В умовах інтелектуального керування виробничими ситуаціями 1–4 рівнів ОНР підприємства-холодильника приймає рішення щодо оптимізації режимів холодопостачання охолоджуваних камер для зберігання харчових продуктів підприємства. У цьому випадку в роботу включається центр інтелектуального управління (ЦІУ) підприємства-холодильника (рис. 1).

Основними функціями ЦІУ є наступне:

- керування обладнанням у відповідності з денним графіком з цифровим доступом і оперативним програмним забезпеченням (ОПЗ);
- управління енергією;
- захист обладнання, інформації й персоналу за допомогою спеціального обладнання від кібератак, контроль доступу до інформації;
- діалог людина/машина на зрозумілій мові з візуалізацією й запитом, що забезпечує виведення на друкувальний пристрій або монітор параметрів, значень, показників вимірювальних датчиків, сигналів про негаразди, час роботи, положення ВМ регулювання або керування, схем, значень перевищення граничних рівнів;
- можливість впливу на ВМ за допомогою центрального пульта (ЦП), а також різних погодинних, спеціалізованих, автоматичних, математичних або на збурення програм реагування;

— збереження інформації для оброблення або архівування;
— оброблення в інформаційному режимі будь-яких значень, які можуть бути представлені у формі графіків або іншої інформації, а також функцій керування та розрахунку стосовно цих величин.

Завдяки ЦІУ та інформаційного забезпечення технічного персоналу відомостями про аномалії в роботі систем холодопостачання, визначення місць їх виникнення, в ОПР є можливість своєчасного прийняття рішень. Крім цього ЦІУ, що працює в режимі авторегулювання і автопідлаштування дозволяє у сполученні з раціональним централізованим керуванням компресорними установками ХМ значною мірою економити енергію в результаті підвищення ефективності, оптимізації часу роботи ХМ. Все це забезпечує більш тривалий термін експлуатації обладнання та більш швидку окупність ХМ.

Відзначимо, що завдяки ЦІУ топ-менеджери холодильного підприємства одержують інформацію в режимі реального часу, що дозволяє організувати роботу ХМ в оптимальному режимі за рахунок адаптивних нечітких систем керування компресорами, конденсаторами та випарниками. Тобто забезпечити траєкторією виробництва холоду за рахунок роботи автоматизованих пристроїв та забезпечити всі експлуатаційні якості ХМ. Завдяки ЦІУ ОПР одержують інформацію про кількісні параметри споживаної енергії, про обладнання, що потребує обслуговування, і, головним чином, про необхідність його модернізації. Звідси слідує, що ситуаційний центр інтелектуального управління дозволяє за рахунок систем MES, ERP керувати оперативним і стратегічним плануванням підприємства-холодильника [8].

Звернемося знову до рисунку 2. Уявимо собі холодильну камеру ХМ, в якій є випарник. Якщо терморегулюючий клапан встановлений вірно, то температура в камері досягає номінального значення. Але із-за впливу навколишнього середовища, наприклад, після багаторазового або тривалого відкриття дверей камери, температура внутрішнього повітря змінюється і встановити її номінальне значення можливо лише за допомогою терморегулюючого клапана. Значна кількість збурень (відкриття дверей, надходження продуктів з більш високою температурою, ніж в контейнері (складському приміщенні), збільшення притоку свіжого повітря і т. п.) призводить до змін заданої температури.

Вищеперелічені збурення можуть бути скомпенсовані за допомогою адаптивних нечітких систем керування ХМ і АРМ оператора-холодильщика, пов'язаного з системами моніторингу стану обладнання та навколишнього середовища.

В якості АРМ-оператора найчастіше використовуються промислові персональні комп'ютери, які мають підвищені показники захисту обладнання від шкідливих впливів навколишнього середовища-вологи, пилу і температури. У нашому випадку — SIMATIC Panel PC [8]. Даний комп'ютер SIMATIC S7 слугує для позиціонування підрахунку подій, масштабування і керування ІВМ холодильних машин та систем холодопостачання.

Рішення задач диспетчерського керування промисловими холодильниками можливо за допомогою програмних продуктів PI System компанії OSIsoft, лінійки програмного забезпечення GE Digital, програмного продукту HIDRA компанії MPDV.

АРМ АСУТП промислового холодильника одержує інформацію від підсистеми моніторингу стану обладнання робочих дільниць. Підсистема призначена для забезпечення візуалізації і контролю стану технологічного обладнання в режимі 24/7 (24 години на добу, 7 днів на тиждень), тобто цілодобово і безперервно. Система дає можливість реалізувати презентацію з різним ступенем деталізації: від відображення на єдиній схемі групи дільниць з розподіленням обладнання (холодильних камер і систем холодопостачання) до візуалізації з точністю до окремого елемента або конкретної дільниці (компресорні станції). АРМ-диспетчера промислового холодильника обладнане відео-стіною. Вона розміщується в приміщенні диспетчерського пункту промислового холодильника. Відео-стіна представляє собою набір встановлених рідино-кристалічних (РК) панелей, кожна із яких має діагональ 40 дюймів і роздільною здатністю не гірше 1366 на 766 пікселів.

Управлінська Мікро-ЕОМ побудована на базі персонального комп'ютера промислового виконання, який підключено до сервера-джерела бази даних системи технічного

моніторингу і керування холодильним обладнанням промислового холодильника великої потужності [8].

Об'єкт моніторингу представляє собою сукупність N багатоступеневих компресорних холодильних машин (діагностичний вузол), холодоносіїв, каналів холодопостачання, холодильних камер промислового холодильника. Типова система моніторингу складається із каналів розповсюдження, системи моніторингу, системи датчиків, блоків узгодження, трактів керування, трактів розпізнавання, аналізаторів, блоків формування діагностичних ознак, блоку прийняття рішень, блоків оповіщення, відображення і реєстрації, блоків мережевих інтерфейсів (Internet/Intranet), інформаційної бази даних і знань, блока керування і синхронізації.

У той же час пропонуємо проєкт системи моніторингу промислового холодильника з блоком прийняття рішень ОПР на основі вхідного масиву діагностичних ознак і експлуатаційних даних, які зберігаються в інформаційній системі, БЗ, БД і які визначають технічний стан об'єкту моніторингу.

Отже, рекомендуємо на кожному промисловому холодильнику впроваджувати сучасні системи моніторингу стану холодильного обладнання. Основу такої системи моніторингу і диспетчеризації холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників складуть контроль параметрів вібрацій, температури ХМ, температури в холодильних камерах і якості продукції відповідно до стандартів країн ЄС.

Температура і частота вібрацій можуть вказати ОПР на ознаки виходу із ладу обладнання ХМ-холодопостачання-холодильних камер промислового холодильника. Тому в АСУТП промислового холодильника необхідно проєктувати системи діагностики холодильного обладнання на базі існуючих систем інтелектуального керування, ІоТ та системи обладнання датчиків і станцій LoRaWAN [8].

Контроль вібрації підшипників компресорів ХМ та якості мастила для них дозволяють зменшити кількість аварійних ситуацій. Якщо підшипники недостатньо змазані, через тертя компресор нагрівається і починає більше вібрувати, що призводить до аварійних ситуацій та непланових ремонтів обладнання. Промислові системи контролю LoRaWAN з датчиками температури, вібрацій, тиску дозволяють контролювати:

- температурні режими роботи ХМ, тиск і температуру робочої речовини, яка направляється в конденсатор КД, де конденсується за рахунок відведення теплоти в навколишнє середовище;
- температурні режими і тиск робочої речовини у випарнику та питому масову холодопродуктивність;
- температурні режими роботи електроприводу компресорних машин та насосів (температуру нагріву обмоток електродвигунів та їх підшипників);
- якість заморожування продукції та її температуру.

Відзначимо, що LoRaWAN — це протокол передачі даних, використання якого є раціональним в умовах вимірювання вібрацій, температури, тиску робочої речовини холодильного обладнання з розумними датчиками одержання інформації про стан навколишнього середовища, яка не займає великий об'єм даних. В якості датчика температури та вібрацій пропонуємо використовувати Netvox R718E.

Маючи оптимальні та критичні значення температури та частоти вібрації, а також тиску й холодопродуктивності холодильного обладнання з використанням ІоТ, проєктуємо бездротову систему діагностики холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника. Серцем будь-якого проєкту Інтернету-речей (ІоТ) є його софтверна складова. Для проєкту системи моніторингу обладнання холодильних машин — це LoRaWAN Network Server, яка забезпечує спілкування між собою датчиків, актуаторів і базових станцій.

LNS також передає інформацію до ChirpStack LoRaWAN application-server (LAS), який відповідає за бізнес-логіку. Зв'язка LNS-LAS, як правило працює за MQTT протоколом, забезпечуючи таким чином універсальність обміну інформації з датчиками й системами контролю та ОПР.

Для передачі інформації з LAS Things Board PE далі в SCADA з підтримкою OPC UA (наприклад, Siemens Win CC Schneider Electric EcoStruxure або Open SCADA) використовується механізм інтеграції, який забезпечує різноспрямований обмін інформації OPC UA Server-LAS в мережі ІоТ холодозабезпечення промислового холодильника. LaRaWAN-мережа дозволяє також підключати датчики руху, контролю відчинення дверей тамбурів і холодильних камер, а головне, контролювати за допомогою датчиків струму витрати електрики на кожній стадії виробництва холоду та холодопостачання. Використання в системі моніторингу технологій ІоТ дозволяє ОПР постійно отримувати інформацію про стан компресорного обладнання і холодозабезпечення холодильних камер, збільшити горизонт прогнозування відмов обладнання. В системі діагностики ХМ передбачено використання штучного інтелекту з метою обробки масиву даних і розпізнавання та прогнозування АРМ-холодильника аварійних ситуацій, аварій тощо. Економічний принцип роботи датчиків дозволяє експлуатувати систему збору даних без технічного обслуговування впродовж тривалого часу, оптимізувати параметри холодопостачання та забезпечуючи високу надійність обладнання, а, отже, якість продукції охолодження-заморожування.

Висновки. Доведено, що перспективні системи багаторівневого автоматизованого керування холодозабезпечення холодильних камер K_1, K_2, \dots, K_N промислових холодильників необхідно проектувати з урахуванням інтелектуальних технологій управління процесом охолодження-заморожування продуктів харчування. Розроблено багаторівневу систему автоматизації сучасного промислового холодильника з АРМ оператора-холодильщика, АРМ диспетчера, інформаційною системою моніторингу стану обладнання, програмного забезпечення, системою інтелектуальних датчиків, яка в режимі реального часу і візуалізації з центром інтелектуального управління забезпечує оптимальні режими холодопостачання холодильних камер з метою збереження корисних властивостей смарт-продуктів харчування, збільшення термінів їх придатності та мінімізації енергетичних витрат.

Список літератури

1. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону : монографія / за заг. ред. В. П. Хорольського, О. Б. Чернеги. Кривий Ріг : видавець ФОП Чернявський Д. О., 2020. 564 с.
2. Чумак І. Г., Чепурненко В. П., Лар'яновський С. Ю., Онищенко В. П. Холодильні установки : підручник / за ред. І. Г. Чумака. 6-е вид. перероб. і допов. Одеса : Пальміра, 2006. 552 с.
3. Теплохолодотехніка : навч. посіб. / С. М. Василенко та ін. Київ : Ліра-К, 2019. 258 с.
4. Тітлов О. С., Горикін С. Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 286 с.
5. Дячек П. И. Холодильные машины и установки : учеб. пособие. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 424 с.
6. Intelligent Chiller Manager (iCM): Installation and Operation Manual D-EIOCH00305-17EN. DAIKIN APPLIED EUROPE S.p.A. 144 p. Retrieved from https://www.daikinapplied.eu/de/wp-content/uploads/sites/2/2019/08/Intelligent-Chiller-Manager_D-EIOCH00305-17EN_Installation-and-operation-manual_English.pdf.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. в 5 т. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / под. ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егунова. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 784 с.
8. SIMATIC. LOGO!: руководство. Siemens, 2009. 302 с.

References

1. Horolskiy, V. P., Cherniha, O. B. et al. (eds.) (2020). *Tsifrovi systemy intelektualnogo upravlinnya pidpryemstvami promyslovogo kompleksu regionu* [Digital systems of intellectual management of enterprises of the industrial complex of the region]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O. Publ., 564 p.
2. Chumak I. H., Chepurnenko V. P., Larianovskiy S. Yu., Onyshchenko V. P. (2006). *Kholodylni ustanovky* [Refrigeration units]. Odessa, Palmira Publ, 552 p.

3. Vasylenko, S. M. et al. (2019). *Teplokhodotekhnika* [Thermal and refrigeration engineering]. Kyiv, Lira-K Publ., 258 p.
4. Titlov, O. S., Horykin S. F. (2011). *Kholodylne obladnannia pidpriemstv kharchovoi promyslovosti* [Refrigeration equipment for food industry enterprises]. Lviv, Novyi svit Publ., 286 p.
5. Diachek, P. I. (2007). *Holodilnyie mashiny i ustanovki* [Refrigeration machines and installations]. Rostov-on-Don, Phoenix Publ., 424 p.
6. Intelligent Chiller Manager (iCM) : Installation and Operation Manual D-EIOCH00305-17EN. DAIKIN APPLIED EUROPE S.p.A. 144 p. Retrieved from https://www.daikinapplied.eu/de/wp-content/uploads/sites/2/2019/08/Intelligent-Chiller-Manager_D-EIOCH00305-17EN_Installation-and-operation-manual_English.pdf.
7. Pupkov, K. A. (2004) *Metodyi sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of modern theory of automatic control]. Moscow, Publishing House of MSTU, 784 p.
8. SIMATIC. LOGO!: manual (2009). Siemens, 302 p.

Objective. *The purpose of the article is to develop multi-level automated control systems for the processes of cooling the chambers of industrial refrigerators by using intelligent technologies.*

Methods. *The study used a set of theoretical, methodological and practical problems associated with the creation of multi-level complexes for automated control of the parameters of cold supply of refrigerating chambers of industrial refrigerators. The problems posed in the article are solved using the methodological foundations of designing automated support and decision-making systems, the main provisions of the theory of automated control, the theory of neural systems, general principles of systems theory, elements of the theory of artificial intelligence, diagnostic methods for visual modeling Simulink and SCADA systems.*

Results. *The article proves that it is advisable to design systems for multilevel automated control of refrigeration supply for industrial refrigerator chambers, taking into account intelligent technologies for controlling the processes of refrigeration and freezing of food products. A multi-level automation system for modern industrial refrigerators with automated workstations (AWS) for a refrigeration operator and a dispatcher, an information system for monitoring the state of equipment, software, a system of smart sensors, which in real time and visualization with an intelligent control center provides optimal cooling or freezing modes is proposed. in order to preserve the beneficial properties of smart food, increase their shelf life and minimize energy costs.*

Keywords: *refrigeration, automation, system, multilevel, intellectualization, diagnostics.*

Омельченко О. В., канд. техн. наук¹

Цвіркун Л. О., канд. пед. наук¹

Ларін О. О., здобувач ОС бакалавра¹

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

МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹

Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences¹

Larin O. O., a graduate of a bachelor degree¹

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

SIMULATION OF A REFRIGERATION INSTALLATION FOR FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS

Мета. Метою статті є моделювання холодильного обладнання для зберігання плодово-овочевої сировини.

Методи. У роботі для моделювання камери холодильного зберігання плодовоовочевої сировини з метою дослідження залежності між втратою маси та візуальною якістю овочів та фруктів застосовано математичні методи та методи нечіткої логіки.

Результати. Зазначено, що комплексний розвиток холодильної промисловості, розширення застосування штучного холоду, який забезпечує тривале збереження і зниження втрат харчової продукції є важливим завданням сьогодення. Тому останнім часом приділяється багато уваги інноваційним рішенням в області охолодження і тривалого зберігання фруктів та овочів, дозріванню бананів, заморозці продуктів в холодильних камерах. Вважається, що плодовоовочева сировина є дуже вразливою продукцією і необхідно чимало ноу-хау для того, щоб вона залишалася свіжою, соковитою, оптимально дозрілою зі збереженими вітамінами та поживними речовинами. Одним із шляхів обґрунтованого вибору тих чи інших рішень, пов'язаних із вирішенням зазначеної проблеми є моделювання перехідних режимів обладнання холодильної камери, повітроохолоджувачів холодильних установок, холодильного циклу тощо. Сконцентровано увагу на тому, що математичне моделювання невід'ємно пов'язане із САПР — системами автоматизованого проектування, АСУТП — автоматизованою системою управління технологічними процесами і АСУ — автоматизованою системою управління. Тому загальна задача моделювання як складної системи взаємопов'язаних елементів вимагає створення математичної моделі в якій будуть взаємопов'язані основні елементи цієї системи. Розглянуто узагальнену модель автоматичного керування режимами холодильної установки для зберігання плодовоовочевої сировини, яка містить у собі основні характеристики елементів холодильної установки, які дозволяють відтворювати відомі вхідні параметри (температура холодильної камери та охолоджуюче конденсаторне середовище, холодопродуктивність машини) за допомогою параметрів робочого циклу тощо. Представлено графік залежності втрати маси та візуальної якості фруктів та овочів, на прикладі полуниці, чорниці, спаржі та перцю задля здійснення вибіркового експериментування. Аналіз результатів показав, що загальна якість сировини погіршилася під час зберігання в міру збільшення втрати ваги; твердість зменшилася, що було найважливішим обмежуючим фактором якості для більшості фруктів та овочів; зміни в кольорі супроводжувалися змінами тканинної щільності; плоди мали темне забарвлення і перезрілий вигляд, кінчики спаржі розвинули потемніння приквітков.

Ключові слова: модель, моделювання, холодильна установка, холодильна камера, автоматичного керування, зберігання, компресор, конденсатор, випарник, плодовоовочева сировина.

Надійшла до редакції 29.10.2021 р. © О. В. Омельченко, Л. О. Цвіркун, О. О. Ларін, 2021

Постановка проблеми. Комплексний розвиток холодильної промисловості, розширення застосування штучного холоду, який забезпечує тривале збереження і зниження втрат харчової продукції є важливим завданням сьогодення. Автоматизовані холодильні машини забезпечують оптимальні температурно-вологісні режими в камерах охолодження та заморожування, що дозволяє зберегти продукти харчування з високою якістю. Проте це вимагає постійної модернізації як прогресивних технологічних процесів, що забезпечують інтенсифікацію холодильної обробки і оптимізацію режимів зберігання так і удосконалення проектування холодильної техніки, систем охолодження та управління [1, 2].

На свіжі продукти з повністю збереженими поживними речовинами та вітамінами пред'являється дуже високі вимоги до їх зберігання. Тому останнім часом приділяється багато уваги інноваційним рішенням в області охолодження і тривалого зберігання фруктів та овочів, дозрівання бананів, заморозки продуктів, будівництву холодильних камер й складів-холодильників. Плодовоовочева сировина є дуже вразливою продукцією і необхідно чимало ноу-хау для того, щоб вона залишалася свіжою, соковитою, оптимально дозрілою зі збереженими вітамінами та поживними речовинами. Одним із шляхів обґрунтованого вибору тих чи інших рішень, пов'язаних із вирішенням зазначеної проблеми є моделювання перехідних режимів обладнання холодильної камери, повітроохолоджувачів холодильних установок, холодильного циклу тощо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Математичне моделювання невід'ємно пов'язане із САПР — системами автоматизованого проектування, АСУТП — автоматизованою системою управління технологічними процесами і АСУ — автоматизованою системою управління. Тому загальна задача моделювання як складної системи взаємопов'язаних елементів вимагає створення математичної моделі в якій будуть взаємопов'язані основні елементи цієї системи [8], рис. 1.

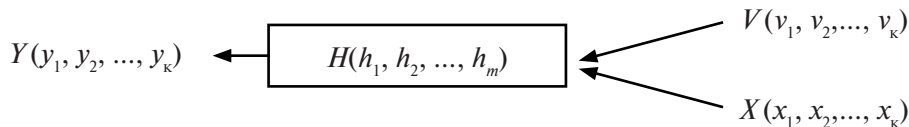


Рисунок 1 — Математична модель, де прямокутником позначено об'єкт (процес) моделювання;

- $X(x_1, x_2, \dots, x_k)$ — безліч зовнішніх впливів на модельований об'єкт;
- $V(v_1, v_2, \dots, v_k)$ — безліч впливів зовнішнього середовища;
- $H(h_1, h_2, \dots, h_m)$ — безліч внутрішніх станів об'єкта;
- $Y(y_1, y_2, \dots, y_k)$ — безліч вихідних параметрів модельованого об'єкту.

Якщо розглядати як об'єкт моделювання холодильну установку то вхідними параметрами для неї буде температури джерел тепла — навколишнього середовища і охолоджуємого об'єкта, а вхідним фактором — холодопродуктивність для здійснення технологічного процесу [3]. Загальна задача моделювання холодильної машини як складної системи взаємопов'язаних елементів вимагає створення математичної моделі в якій будуть взаємопов'язані зовнішні та внутрішні характеристики роботи холодильної установки. До основних зовнішніх характеристик відносяться параметри навколишнього середовища і теплопритоки в холодильній камері, до внутрішніх — геометричні та теплообмінні параметри апаратів, характеристики компресора і розширювального пристрою [4, 5, 6]. Відповідно, математична модель має містити у собі основні характеристики елементів холодильної установки, які дозволяють відтворювати відомі вхідні параметри (температура холодильної камери та охолоджуюче конденсаторне середовище, холодопродуктивність машин) за допомогою параметрів робочого циклу тощо.

У математичній моделі використовуються рівняння, що описують робочі процеси в основних елементах холодильної машини. Так, узагальнена математична модель камери зберігання охолоджених продуктів представлена системою рівнянь балансів теплоти і маси [7].

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta Q_{огор} = \sum_{i=1}^n m_{огор} \cdot c_{огор} \cdot \frac{d\theta_{огор}}{d\tau} \\ m_{np} \cdot c_{np} \frac{d\theta_{np}}{d\tau} = \sum_{i=1}^n Q_i \\ m_v \cdot c_{np} \frac{dt_v}{d\tau} = \sum_{j=1}^n Q_j \\ m_{ox} \cdot c_{ox} \frac{d\theta_{ox}}{d\tau} = \sum_{q=1}^n Q_q \\ dG - dm = \sum_i W_i \end{array} \right. \quad (1)$$

де $\theta_{огор}, \theta_{ox}$ — температура огороження та охолоджувальних приладів; Q_i, Q_j, Q_q — теплові потоки; W_i — вологопотоки; $c_{огор}, c_{ox}$ — питома теплоємність.

Математична модель камери холодильного зберігання плодовоовочевої сировини представлена у вигляді системи диференціальних рівнів [1]

$$m_v \cdot c_p \frac{dt}{d\tau} = G_v \cdot c_p (t_1 - t_2) - \alpha_j \cdot f_j (\bar{t} - \theta_j) - \alpha_c \cdot f_c (\bar{t} - \theta_c) \quad (2)$$

$$m_j \cdot c_j \frac{d\theta_j}{d\tau} = \alpha_j \cdot f_j (\bar{t}_v - \theta_j) + q(\theta_j) \cdot m_j - \beta_i \cdot F_i \cdot r(a \cdot \theta_j + c - b \cdot d) \quad (3)$$

$$m_c \cdot c_c \frac{d\theta_c}{d\tau} = \alpha_c \cdot f_c (\bar{t} - \theta_c) - \alpha_n \cdot f_n (\theta_c - t_z) \quad (4)$$

$$m_{v0} \cdot \frac{dd}{d\tau} = \beta \cdot F_n (a - \theta_j) + c - b \cdot d - G_v \cdot (d_2 - d_1) \quad (5)$$

де β — коефіцієнт випаровування; F — поверхня опромінювання; d — вологовміст повітря; r — питома теплота пароутворення.

Мета статті — моделювання холодильного обладнання для зберігання плодовоовочевої сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 2 показано принципову схему холодильного циклу, що складається з компресора, конденсатора, розширювального клапана та випарника. Компресор управляє холодоагентом через конденсатор, клапан розширення і випарник. Зниження тиску знижує температуру насичення холодоагенту, що дозволяє йому закипіти у випарнику, коли це поглинає тепло з відсіку холодильної машини.

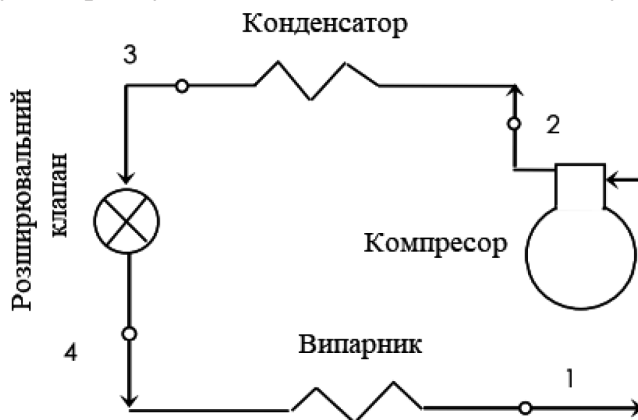


Рисунок 2 — Принципова схема холодильного циклу

Холодоагент повертається до компресора, щоб повторити цикл, а контролер включає й вимикає компресор, щоб забезпечити температуру відсіку холодильника в смузі навколо бажаної температури [9, 10].

Холодильний цикл зображено на діаграмі p-h, рис. 3. Перегріта пара надходить в компресор в стан 1 і стискається до стану 2. Зі стану 2 в стан 3, тепло відводиться від високотемпературного холодоагенту в навколишнє середовище, температура. Стиснутий рідкий холодоагент в стані 3 дроселює до тиску випарника в стан 4. У випарнику низькотемпературний холодоагент поглинає тепло з навколишнього середовища, що знаходиться при більш високій температурі.

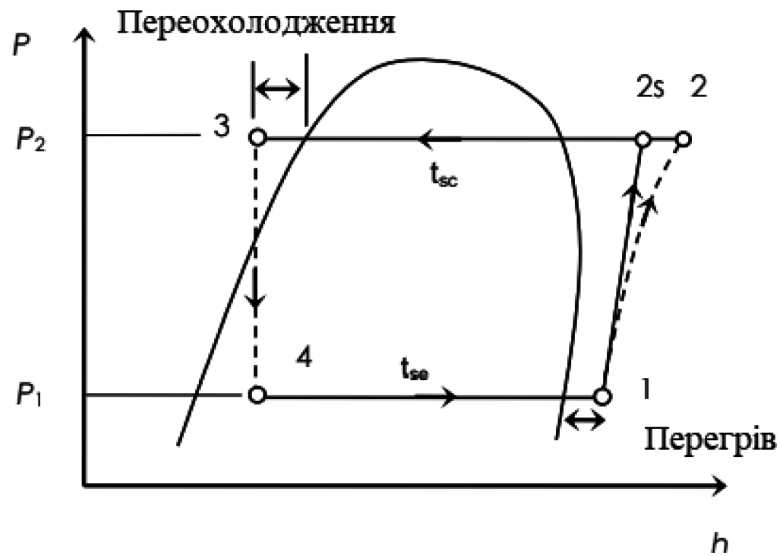
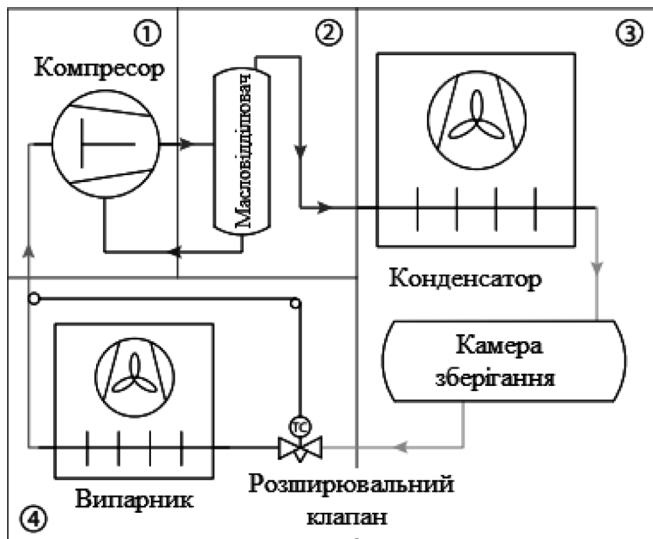


Рисунок 3 — Холодильний цикл на діаграмі p-h

Узагальнена модель [7, 11, 12] автоматичного керування холодильною установкою для зберігання плодовоовочевої сировини наведена на рис. 4.



- 1 — зона управління компресором;
- 2 — зона контролю масла;
- 3 — зона управління конденсатором;
- 4 — зона управління випарником.

Рисунок 4 — Узагальнена модель автоматичного керування режимами холодильної установки для зберігання плодовоовочевої сировини

Незважаючи на дотримання вимог до зберігання плодовоовочевої сировини втрата ваги відбудеться під час зберігання, особливо деяких видів сировини. Важливим для запобігання втрат маси плодовоовочевої сировини є автоматичне регулювання основних параметрів повітря в об'ємі камери та на виході з камери, а також дотримання відносної

вологості повітря. Графік залежності втрати маси та візуальної якості овочів і фруктів, що зберігаються при недотриманні відповідних показників (було розглянуто на прикладі полуниці, чорниці, спаржі та перцю, що дозволить здійснити вибіркове експериментування, рис. 5–6.

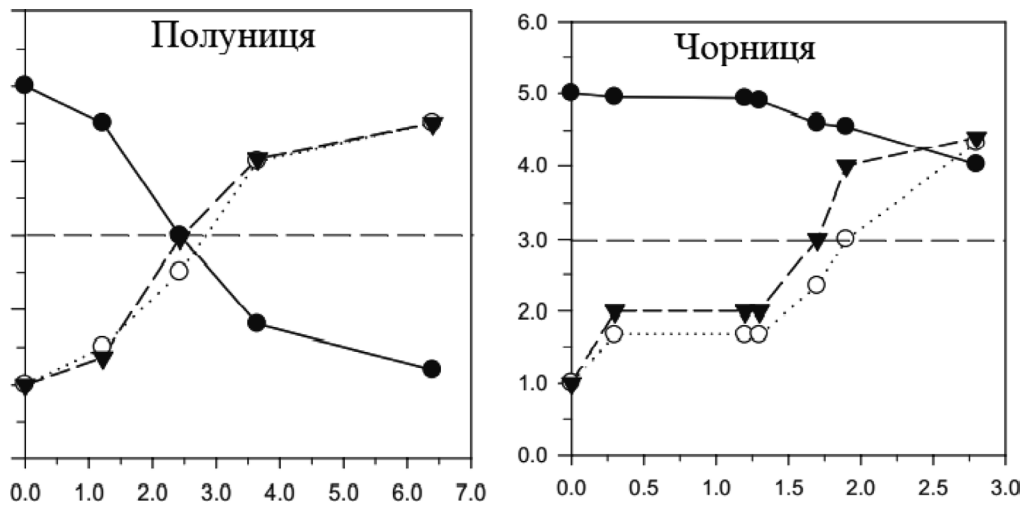


Рисунок 5 — Залежність втрати маси плодів та візуальної якості

----- — межа прийнятності до того, як якість фруктів стала непринятною;

● — стійкість;

○ — зморщування, в'янення, сушіння;

▼ — зміни кольору.

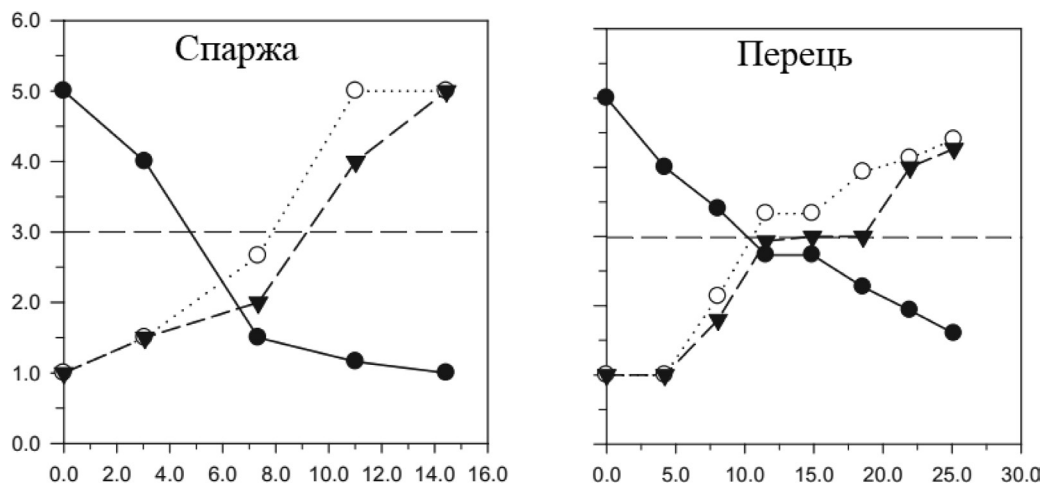


Рисунок 6 — Залежність втрати маси овочів та візуальної якості

----- — межа прийнятності до того, як якість фруктів стала непринятною;

● — стійкість;

○ — зморщування, в'янення, сушіння;

▼ — зміни кольору.

З графіків видно, що загальна якість фруктів та овочів погіршилася під час зберігання в міру збільшення втрати ваги; твердість зменшилася, що було найважливішим обмежуючим фактором якості для більшості фруктів та овочів; зміни в кольорі супроводжувалися змінами тканинної щільності; плоди мали темне забарвлення і перезрілий вигляд, кінчики спаржі розвинули потемніння приквітков. На таких рівнях втрати ваги, візуальна якість оцінених фруктів та овочів вже вважається непринятною через сильне пом'якшення, погіршення кольору, зморщування, в'янення або сухий вигляд.

Висновки. Отже, автоматизовані холодильні машини забезпечують оптимальні температурно-вологісні режими в камерах охолодження та заморожування, що дозволяє зберегти продукти харчування з високою якістю. Проте це вимагає постійної модернізації як

прогресивних технологічних процесів, що забезпечують інтенсифікацію холодильної обробки і оптимізацію режимів зберігання так і удосконалення проектування холодильної техніки, систем охолодження та управління.

Зазначено, що плодовоовочева сировина є дуже вразливою продукцією і необхідно чимало ноу-хау для того, щоб вона залишалася свіжою, соковитою, оптимально дозріваючою зі збереженими вітамінами та поживними речовинами. Одним із шляхів обґрунтованого вибору тих чи інших рішень, пов'язаних із вирішенням зазначеної проблеми є моделювання перехідних режимів обладнання холодильної камери, повітроохолоджувачів холодильних установок, холодильного циклу тощо.

Розглянуто узагальнену модель автоматичного керування режимами холодильної установки для зберігання плодовоовочевої сировини, яка містить у собі основні характеристики елементів холодильної установки, які дозволяють відтворювати відомі вхідні параметри (температура холодильної камери та охолоджуюче конденсаторне середовище, холодопродуктивність машин) за допомогою параметрів робочого циклу тощо. Представлено графік залежності втрати маси та візуальної якості фруктів та овочів, на прикладі полуниці, персика, спаржі та перцю задля здійснення вибіркового експериментування. Інтерпретовано результати дослідження.

Список літератури

1. Котов Б. І., Грищенко В. О. Моделювання перехідних режимів обладнання холодильної камери та структури системи автоматичного керування (САК) температурно-вологісним режимом. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. Вип. 39. С. 62–67.
2. Стоянов П. Ф., Біленко Н. О., Стоянов Я. О. Моделювання роботи повітроохолоджувачів холодильних установок. *Холодильна техніка та технологія*. 2019. № 2. С. 25–30.
3. Huang B. J., Chen H. Y. Modeling of integral-type Stirling refrigerator using system dynamics approach. *International journal of refrigeration*. 2015. Vol. 23. P. 632–641.
4. Кишкин А. А., Лавров Н. А., Делков А. В., Мокеев В. В. Моделирование режимов работы малых холодильных установок. URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-rezhimov-raboty-malyh-holodilnyh-ustanovok>.
5. Micallef D., Micallef C. Mathematical model of a vapour absorptionrefrigeration unit. *Refrigeration equipment and technology*. 2010. Vol. 9. P. 86–97.
6. Simulation model of a small power refrigeration cycle demonstration unit. Retrieved from https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/44846/Mart%C3%ADnez-Su%C3%A1rez_Simulation_2014.pdf?sequence=1.
7. Грищенко В. О. Автоматизація процесу керування холодильним обладнанням в плодовоовочесховищах: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.07. К., 2016. 212 с.
8. Бойко І. В., Петрик М. Р. Математичне моделювання в науково-технічних дослідженнях. Тернопіль: ТНТУ, 2017. 110 с.
9. Two-Phase Fluid Refrigeration — MATLAB & Simulink. Retrieved from <https://es.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/two-phase-fluid-refrigeration.htm>.
10. Senawi M. Y., Mahmud F. W. Simulation of a simple vapour-compression refrigeration system using R134a. *Mechanical engineering and machinery*. 2016. Vol. 6. P. 26–38.
11. Єрмілова Н. В., Кислиця С. Г., Тарасюк Р. М. Розроблення автоматизованої системи керування обладнанням овочесховища на базі нечітких нейронних мереж. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Вип. 1 (53). С. 50–54.
12. Automatic controls for industrial refrigeration systems. Retrieved from <https://web.fe.up.pt/~ee99259/projecto/conteudo%20teorico/artigos/Automatic%20Controls%20for%20Industrial%20Refrigeration%20Systems.pdf>.

References

1. Kotov, B. I., Grishchenko, V. O. (2010). *Modelyuvannya perekhidnykh rezhymiv obladnannya kholodylnoyi kamery ta struktury systemy avtomatychnoho keruvannya (SAK) temperaturno-*

volohisnym rezhymom [Modeling of transient modes of refrigeration chamber equipment and structure of automatic control system (ACS) by temperature-humidity mode]. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya silskohospodarskykh mashyn* [Design, manufacture and operation of agricultural machinery], no. 39, pp. 62–67.

2. Stoyanov, P. F., Bilenko, N. O., Stoyanov, Ya. O. (2019). *Modelyuvannya roboty povitrookholodzhuvachiv kholodylnykh ustanovok* [Simulation of air coolers of refrigeration units]. *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiya* [Refrigeration equipment and technology], no. 2, pp. 25–30.

3. Huang B. J., Chen H. Y. Modeling of integral-type Stirling refrigerator using system dynamics approach. *International journal of refrigeration*. 2015. Vol. 23. P. 632–641.

4. Kishkin, A. A., Lavrov, N. A., Delkov, A. V., Mokeev, V. V. (2015). *Modelirovaniye rezhimov raboty malykh kholodil'nykh ustanovok* [Modeling the operating modes of small refrigeration units]. Available at : <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-rezhimov-raboty-malykh-olodilnyh-ustanovok>.

5. Micallef D., Micallef C. Mathematical model of a vapour absorption refrigeration unit. *Refrigeration equipment and technology*. 2010. Vol. 9. P. 86–97.

6. Simulation model of a small power refrigeration cycle demonstration unit. Retrieved from https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/44846/Mart%C3%ADnez-Su%C3%A1rez_Simulation_2014.pdf?sequence=1.

7. Grishchenko, V. O. (2016). *Avtomatyzatsiya protsesu keruvannya kholodylnym obladdnanniam v plodovochoeshkovyshchakh* [Automation of refrigeration equipment management process in fruit and vegetable storages]. Kyiv, 212 p.

8. Boyko, I. V., Petrik, M. R. (2017). *Matematychni modelyuvannya v naukovu-tekhnichnykh doslidzhennyakh* [Mathematical modeling in scientific and technical research]. Ternopil, TNTU Publ., 110 p.

9. *Dvukhfaznoye zhidkoye okhlazhdeniye — MATLAB i Simulink* (2020). [Two-Phase Fluid Refrigeration — MATLAB & Simulink]. Available at : <https://es.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/two-phase-fluid-refrigeration.htm>.

10. Senawi, M. Y., Mahmud, F. W. Simulation of a simple vapour-compression refrigeration system using R134a. *Mechanical engineering and machinery*. 2016. Vol. 6. P. 26–38.

11. Ermilova, N. V., Kislytsia, S. G., Tarasyuk, R. M. (2019). *Rozroblennya avtomatyzovanoyi systemy keruvannya obladdnanniam ovocheskovyshcha na bazi nechitkykh neyronnykh merezh* [Development of an automated control system for vegetable storage equipment based on fuzzy neural networks]. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zviazku* [Control, navigation and communication systems], no. 1(53), pp. 50–54.

12. Automatic controls for industrial refrigeration systems. Retrieved from <https://web.fe.up.pt/~ee99259/projecto/conteudo%20teorico/artigos/Automatic%20Controls%20for%20Industrial%20Refrigeration%20Systems.pdf>.

Objective. *The purpose of the article is to model refrigeration equipment for storing fruit and vegetable raw materials.*

Methods. *In this work, mathematical methods and methods of fuzzy logic were used to simulate a refrigerated storage chamber for fruit and vegetable raw materials in order to study the relationship between weight loss and the visual quality of vegetables and fruits.*

Results. *It is noted that the integrated development of the refrigeration industry, the expansion of the use of artificial cold, which ensures long-term preservation and reduction of food losses, is an important task of our time. Therefore, in recent years, much attention has been paid to innovative solutions in the field of refrigeration and long-term storage of fruits and vegetables, ripening of bananas, freezing of products in refrigerated chambers. It is believed that raw fruit is a very vulnerable product and a lot of know-how is needed to keep it fresh, juicy, optimally ripe with preserved vitamins and nutrients. One of the ways to make a reasonable choice of certain solutions associated with solving this problem is to simulate transient modes of refrigerating chamber equipment, air coolers of refrigeration units, refrigeration cycle, and the like. Attention is focused on the fact that mathematical modeling is inextricably linked with CAD — computer-aided design systems, APCS — automated process control*

system and ACS — automated control system. Therefore, the general task of modeling as a complex system of interconnected elements requires the creation of a mathematical model in which the main elements of this system will be interconnected. A generalized model of automatic control of the modes of a refrigeration unit for storing fruit and vegetable raw materials is considered, containing the main characteristics of the elements of the refrigeration unit, which will allow reproducing the known input parameters (temperature of the refrigerating chamber and cooling the condensing medium, refrigeration capacity of the machine) using the parameters of the operating cycle, and the like. A graph of the relationship between weight loss and visual quality of fruits and vegetables is presented, using the example of strawberries, blueberries, asparagus and peppers for selective experimentation. Analysis of the results showed that the overall quality of raw materials deteriorated during storage as weight loss increased; hardness decreased, which was the most important limiting quality factor for most fruits by which vegetables were judged; changes in color were accompanied by changes in tissue density; the fruit was dark in color and overripe, and the tips of the asparagus developed darkening of the bracts.

Key words: model, modeling, refrigeration unit, cold room, automatic control, storage, compressor, condenser, evaporator, fruit-raw materials.

ЗМІСТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Гніщевич В. А., Кущенко В. І.

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ЯКІСТЬ НАПІВФАБРИКАТУ
НА ОСНОВІ М'ЯКОТІ ГАРБУЗА ДЛЯ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ..... 5

Дейниченко Л. Г., Корецька І. Л., Буряк Д. О.

ТЕХНОЛОГІЯ ВЕРШКОВОГО КОНДИТЕРСЬКОГО КРЕМУ
З ВИКОРИСТАННЯМ МОЛОЧНО-БІЛКОВОГО КОПРЕЦИПІТАТУ..... 11

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Дейниченко Г. В., Листопад Т. С., Кравченко Т. В.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ЯГІДНИХ СОУСІВ
ІЗ ЙОДВМІЩУЮЧИМИ ДОБАВКАМИ..... 19

Ткаченко Л. В., Процан Н. В.

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ МЕЛЯСИ З ЦУКРОВОГО БУРЯКУ
ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ 28

Горайнова Ю. А., Сімакова О. О., Пусікова О. А., Мороз В. О., Гусак Є. Р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ
ВИРОБІВ, ЩО ЗБАГАЧЕНІ РЕЧОВИНАМИ ПОЛІФЕНОЛЬНОЇ ПРИРОДИ 36

Покотило О. С., Кухтин М. Д., Криськова Л. П.

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МАЙОНЕЗУ
З РІЗНИМ СПІВВІДНОШЕННЯМ ОЛІЙ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ..... 44

Сімакова О. О., Горайнова Ю. А., Боднарчук О. А., Філіппова О. Ю.

САНІТАРНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ
МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА БЕЗ ДРІЖДЖІВ 52

Попова С. Ю., Гопкало Л. М., Слащева А. В., Пусікова О. А., Стукальська Н. М.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ АКТИВАЦІЇ ДРІЖДЖІВ
У ПРИСУТНОСТІ СУХОЇ КАРТОПЛЯНОЇ ДОБАВКИ 61

Красевська С. П., Піддубний В. А., Веселовська Т. Є., Стадник І. Я., Боднарчук О. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ, ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ПАРАМЕТРІВ
ЕКСТРАГУВАННЯ СЛИЗУОТВОРЮЮЧИХ ПОЛІСАХАРИДІВ
НАСІННЯ ЛЬОНУ..... 71

Слащева А. В., Золотухіна І. В., Попова С. Ю., Гопкало Л. М., Науменко А. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРЧОВОЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОСІЧЕНИХ ВИРОБІВ..... 79

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Дейниченко Г. В., Золотухіна І. В., Дмитревський Д. В.,

Гузенко В. В., Перекрест В. В., Гладкова О. С.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ БАРОМЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ
У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ 86

Цвіркун Л. О., Омельченко О. В., Цвіркун С. Л., Чумак А. К.

ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЗАСОБІВ
УДОСКОНАЛЕННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ПРИСТРОЮ СОРТУВАННЯ
ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ..... 94

<i>Піддубний В. А., Стадник І. Я., Федорів В. М., Максименко І. Ф.</i> ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ВИНОМАТЕРІАЛІВ	101
<i>Хорольський В. П., Никифоров Р. П., Коренець Ю. М.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО КОПЧЕННЯ РИБНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ	110

**РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

<i>Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Яровий Д. В., Расчехмаров І. В.</i> ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БАГАТОРІВНЕВОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ	122
<i>Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Ларін О. О.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ	131

CONTENTS

MODERN FOOD TECHNOLOGIES

<i>Gnitsevych V. A., Kushchenko V. I.</i> TECHNOLOGY AND QUALITY OF THE SEMI-FINISHED PRODUCT ON THE BASIS OF PUMPKIN PULP FOR HEALTHY NUTRITION.....	5
<i>Deinychenko L. H., Koretska I. L., Buriak D. O.</i> TECHNOLOGY OF CREAM WITH MILK-PROTEIN CO-PRECIPIRATE.....	11

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

<i>Deinychenko G. V., Lystopad T. S., Kravchenko T. V.</i> OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF PASTEURIZATION OF BERRY SAUCES WITH IODINE-CONTAINING ADDITIVES	19
<i>Tkachenko L. V., Protsan N. V.</i> CRITERIA FOR EVALUATING THE INDICATORS OF SUGAR BEET MOLASSES AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF BIOETHANOL	28
<i>Goriainova I. A., Simakova O. O., Pusikova O. A., Moroz V. O., Husak Y. R.</i> RESEARCH OF QUALITY INDICATORS OF FLOUR CONFECTIONERY ENRICHED WITH SUBSTANCES OF POLYPHENOL NATURE	36
<i>Pokotylo O. S., Kukhtyn M. D., Kryskova L. P.</i> RESEARCH OF MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF MAYONNAISE WITH DIFFERENT RATIO OF OILS DURING STORAGE	44
<i>Simakova O. O., Goriainova Iu. A., Bodnaruk O. A., Filippova O. Yu.</i> SANITARY AND TECHNOLOGICAL MEASURES AND DETERMINATION OF MICROBIOLOGICAL INDICATORS IN THE PRODUCTION OF BREAD WITHOUT YEAST	52
<i>Popova S. Yu., Gopkalo L. M., Slashcheva A. V., Pusikova O. A., Stukalska N. M.</i> DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF YEAST ACTIVATION IN THE PRESENCE OF DRY POTATO ADDITIVE.....	61
<i>Kraevska S. P., Pidubnyi V. A., Veselovska T. Ye., Stadnyk I. Ya., Bodnaruk O. A.</i> INVESTIGATION OF COMPOSITION, PROPERTIES AND EXTRACTION PARAMETERS OF FLAX SEEDS MUCOUS-FORMING POLYSACCHARIDES.....	71
<i>Slashcheva A. V., Zolotukhina I. V., Popova S. Yu., Gopkalo L. M., Naumenko A. V.</i> RESEARCH OF NUTRITIONAL AND BIOLOGICAL VALUE OF FUNCTIONAL MINCED PRODUCTS.....	79

IMPROVEMENT OF PROCESSES AND APPARATUS OF FOOD PRODUCTION

<i>Deynichenko G. V., Zolotukhina I. V., Dmytrevskyi D. V., Guzenko V. V., Perekrest V. V., Hladkova O. S.</i> MODERN TECHNOLOGIES OF BAROMEMBRANE PROCESSES IN THE FOOD INDUSTRY	86
<i>Tsvirkun L. A., Omelchenko O. V., Tsvirkun S. L., Chumak A. K.</i> SELECTION OF CONSTRUCTION MATERIALS AND IMPROVEMENTS AND MEASUREMENTS FOR THE DEVICE SORTING FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS	94
<i>Pidubnyi V. A., Stadnyk I. Y., Fedoriv V. M., Maksymenko I. F.</i> INTENSIFICATION OF PROCESSES OF WINE MATERIAL PRODUCTION	101

Khorolskyi V. P., Nykyforov R. P., Korenets Yu. M.
IMPROVEMENT OF THE HOT SMOKING OF FISH PRODUCTS
USING THE INTELLIGENT WORKING AND TECHNOLOGICAL COMPLEX.....110

**DEVELOPMENT OF PROGRESSIVE HIGH-EFFICIENT
FOOD INDUSTRY EQUIPMENT**

Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Honcharenko V. A., Yarovy D. V., Raschekhmarov I. V.
THEORETICAL BASIS OF MULTI-LEVEL AUTOMATED CONTROL
OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS122

Omelchenko O. V., Tsvirkun L. A., Larin O. O.
SIMULATION OF A REFRIGERATION INSTALLATION
FOR FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS131

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Наукове видання

**ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

№ 2 (43) 2021

Тематичний збірник наукових праць

Українською та англійською мовами

Підписано до друку 29.12.2021 р.
Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура «Newton C». Друк — лазерний.
Ум. друк. арк. 16,62. Обл.-вид. арк. 15,25.
Наклад 60 прим. Зам. № 86.

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