МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КОРНІЄНКО ДАР'Я АНДРІЇВНА

УДК 664.144:664.126

ДИСЕРТАЦІЯ

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ЦУКРІВ З ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Спеціальність 181 – Харчові технології

Галузь знань 18 – Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Дар'я КОРНІЄНКО

Науковий керівник:
Самілик Марина Михайлівна,
доктор технічних наук, професор

Суми – 2026

АНОТАЦІЯ

Корнієнко Д. А. **Розширення асортименту цукрів з функціональними властивостями.** - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 181 «Харчові технології», Сумський національний аграрний університет. Суми, 2026. Дисертаційну роботу присвячено науковому обґрунтуванню та розробленню технології цукру, збагаченого похідними переробки дикорослої плодово-ягідної сировини, з подальшим використанням отриманого продукту у виробництві харчових продуктів з доданою вартістю.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування та розроблення технології цукру, збагаченого похідними переробки дикорослої плодово-ягідної сировини (горобини звичайної, бузини чорної, калини звичайної, обліпихи крушиноподібної), з наступним використанням отриманого продукту у виробництві харчових продуктів з доданою вартістю.

У розділі 1 «Теоретичні аспекти формування асортименту та технологічні принципи збагачення цукру» проаналізовано роль цукру у харчуванні та промисловості, систематизовано дані щодо асортименту цукру у світі та в Україні, розглянуто сучасні підходи до збагачення харчових продуктів та інноваційні способи розширення асортименту цукрів з функціональними властивостями. Обґрунтовано доцільність застосування дикорослої ягідної сировини Сумського та суміжних регіонів (горобини звичайної, бузини чорної, калини звичайної, обліпихи крушиноподібної) як природного джерела вітамінів С, Е, К, флавоноїдів, антоціанів, органічних кислот та амінокислот для збагачення цукру.

У розділі 2 «Об'єкти та методи досліджень» визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, розроблено програму експериментальних досліджень, спрямовану на наукове обґрунтування технології збагаченого цукру. Для оцінки органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних показників якості ВОР, збагаченого цукру та продуктів на його основі підібрано відповідне обладнання та

методи дослідження, зокрема високоефективну рідинну хроматографію та математичне моделювання методом поверхні відгуку (RSM).

У розділі 3 «Обґрунтування доцільності використання відпрацьованих осмотичних розчинів для збагачення цукру» досліджено органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники, а також харчову і біологічну цінність ВОР, отриманих при осмотичній дегідратації плодів чотирьох видів дикорослих рослин (горобини звичайної, бузини чорної, калини звичайної, обліпихи крушиноподібної). Встановлено оптимальні параметри процесу ОД ягід: концентрація цукрового розчину – (70±2) %, гідромодуль – 1:1, температура – (50±5) °С, тривалість – 1 год. Усі зразки ВОР отримали високі органолептичні оцінки (29–30 балів із 30 можливих).

За результатами аналізу відпрацьованих осмотичних розчинів встановлено наявність у їх складі великої кількості антоціанів, каротиноїдів та інших біологічно активних речовин, які переходять з плодів під час осмотичної дегідратації. Найвищий вміст вітаміну С (1,121 мг/100 г) виявлено у калиновому розчині. Це свідчить про високу термостабільність та інтенсивний перехід аскорбінової кислоти з тканин калини в ВОР. Максимальну концентрацію флавоноїдів (42,0 мг/100 г) зафіксовано у бузиновому розчині. Це зумовлено високим початковим вмістом антоціанів та інших поліфенольних сполук у плодах бузини, які легко розчиняються у цукровому сиропі. Висока концентрація нутрієнтів та інтенсивне забарвлення відпрацьованих осмотичних розчинів доводять їхню високу харчову цінність. Мікробіологічна стабільність та фізико-хімічні показники, зокрема, масова частка сухих речовин в межах 65-72% обґрунтовує доцільність їх використання у технології збагаченого цукру пез додаткової обробки.

У розділі 4 «Технологія та показники якості збагаченого цукру» розроблено технологічну схему виробництва збагаченого цукру-піску та пресованого цукру із внесенням ВОР в кількості 10% до маси цукру. Досліджено органолептичні, фізико-хімічні показники, показники безпечності, амінокислотний, вітамінний і вуглеводний склад та біологічну цінність готового продукту.

Встановлено, що ОД забезпечує перехід біологічно активних речовин із плодів у збагачений цукор: амінокислот – від 0,558 до 8,534 мг/100 г (в тому числі незамінних

– 0,123–3,688 мг/100 г); флавоноїдів – 0,036–0,280 %; антоціанів – 1,8–14 мг/100 г; вітаміну С – 0,045–0,172 мг/100 г.

Розділ 5 «Рекомендації щодо практичного використання результатів дослідження» присвячений розробленню системи HACCP для виробництва збагаченого цукру як нового виду продукту, для якого раніше не існувало стандартизованих планів безпечності. Ідентифіковано специфічні небезпечні чинники (мікотоксин патулін, залишкові пестициди, важкі метали, ризики термофільної мікрофлори на стадії осмотичної дегідратації) та визначено 7 критичних контрольних точок. Розроблено технологію натуральної льодяникової карамелі на основі збагаченого цукру та проведено оптимізацію технологічних параметрів її виробництва методом математичного моделювання (RSM, повнофакторний експеримент 3^3). Визначено оптимальні параметри: температура карамелізації 135–145 °С (оптимум 140 °С), концентрація відпрацьованого розчину – 30 %, вміст біологічно активних речовин – 28–32 мг/100 мл. Значення функції бажаності Харрінгтона d=0,871 підтверджує рівень якості «добре». Розроблені технічні умови «Цукор вітамінізований пресований» пройшли апробацію на діючому підприємстві (ТОВ «Радехівський цукор»).

Ключові слова: цукор, рослинна сировина, функціональні властивості, харчова цінність, кольоровість, антоціани, органолептичні властивості, фізико-хімічні властивості, амінокислотний склад, математичне моделювання.

ABSTRACT

Korniienko D. A. *Expanding the range of sugars with functional properties*. – Qualifying scientific work (manuscript).

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 181 "Food Technologies," Sumy National Agrarian University. Sumy, 2026. The dissertation focuses on the scientific substantiation and development of a technology for producing sugar enriched with derivatives of processed wild fruit and berry raw materials, and the subsequent use of the resulting product in the manufacture of value-added food products.

The introduction substantiates the relevance of the topic and outlines the aim and objectives of the research. The aim of the dissertation is to scientifically substantiate and develop a technology for sugar enriched with derivatives of processed wild fruit and berry raw materials (common rowan, black elderberry, guelder rose, and sea buckthorn), followed by the use of the resulting product in the production of value-added food products.

Chapter 1, "Theoretical aspects of assortment formation and technological principles of sugar enrichment," analyzes the role of sugar in nutrition and industry, systematizes data on the global and Ukrainian sugar assortment, and examines modern approaches to food enrichment as well as innovative methods for expanding the range of sugars with functional properties. The study substantiates the feasibility of using wild berry raw materials from the Sumy and adjacent regions (European rowan, black elderberry, guelder rose, and sea buckthorn) as natural sources of vitamins C, E, and K, flavonoids, anthocyanins, organic acids, and amino acids for sugar enrichment.

Chapter 2, "Research Objects and Methods," defines the object, subject, and methods of the study and outlines an experimental program aimed at scientifically substantiating the technology for producing enriched sugar. Appropriate equipment and research methods were selected to evaluate the organoleptic, physicochemical, and microbiological quality indicators of spent osmotic solutions (SOS), enriched sugar, and products based on them; these methods included high-performance liquid chromatography and response surface methodology (RSM) for mathematical modeling.

Chapter 3, "Justification of the Feasibility of Using Spent Osmotic Solutions for Sugar Enrichment," examines the organoleptic, physicochemical, and microbiological indicators, as well as the nutritional and biological value, of SOS obtained through the osmotic dehydration of four wild plant species (European rowan, black elderberry, guelder rose, and sea buckthorn). Optimal parameters for the osmotic dehydration process were established: sugar solution concentration of (70±2)%, solid-to-liquid ratio of 1:1, temperature of (50±5)°C, and duration of 1 hour. All SOS samples received high organoleptic scores (29–30 points out of a possible 30). Analysis of the spent osmotic solutions revealed the presence of significant quantities of anthocyanins, carotenoids, and other biologically active substances that migrate from the fruit during osmotic dehydration. The highest Vitamin C content (1.121 mg/100 g) was found in the guelder rose solution, indicating high thermal stability and substantial migration of ascorbic acid from the guelder rose tissue into the solution. The maximum flavonoid concentration (42.0 mg/100 g) was recorded in the elderberry solution; this is attributed to the high initial content of anthocyanins and other polyphenolic compounds in elderberries, which readily dissolve in sugar syrup. The high nutrient concentration and intense coloration of the spent osmotic solutions demonstrate their significant nutritional value. Their microbiological stability and physicochemical properties – specifically, a dry matter content of 65–72% – justify their use in the production of enriched sugar without further processing.

Section 4, "Technology and Quality Indicators of Enriched Sugar," details a production process for enriched granulated and pressed sugar involving the addition of spent osmotic solutions at a rate of 10% of the sugar mass. The study examined the organoleptic and physicochemical properties, safety indicators, amino acid, vitamin, and carbohydrate composition, and biological value of the finished product. It has been established that osmotic dehydration (OD) facilitates the transfer of biologically active substances from the fruit into the enriched sugar: amino acids – from 0.558 to 8.534 mg/100 g (including essential ones – 0.123–3.688 mg/100 g); flavonoids – 0.036–0.280%; anthocyanins – 1.8–14 mg/100 g; and vitamin C – 0.045–0.172 mg/100 g.

Section 5, "Recommendations for the practical application of research results," focuses on developing a HACCP system for the production of enriched sugar – a new type

of product for which standardized safety plans did not previously exist. Specific hazards were identified (the mycotoxin patulin, pesticide residues, heavy metals, and risks associated with thermophilic microflora during the osmotic dehydration stage), and seven critical control points were determined. A technology for producing natural hard candy based on enriched sugar was developed, and the production parameters were optimized using the mathematical modeling (RSM, 3^3 full factorial experiment). The optimal parameters were determined: caramelization temperature of 135–145°C (optimum 140°C), spent solution concentration of 30%, and content of biologically active substances of 28–32 mg/100 ml. The Harrington desirability function value of d=0.871 confirms a "good" quality level. The developed technical specifications for "Vitamin-enriched pressed sugar" were validated at an operating enterprise (Radekhivskyi Sugar LLC).

Keywords: sugar, plant-based raw materials, functional properties, nutritional value, color, anthocyanins, organoleptic properties, physicochemical properties, amino acid composition, mathematical modeling.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях, що індексуються в Scopus:

1. Using derivative products from processing wild berries to enrich pressed sugar / M. Samilyk, **D. Korniienko**, N. Bolgova [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 3, No. 11 (117). P. 39–44. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258127. *Особистий внесок: огляд літературних джерел, проведення експериментальних досліджень та розрахунків, участь в узагальненні отриманих результатів.*
2. Determination of quality indicators of sugar fortified by-product / L. Bal'-Prylipko, M. Samilyk, **D. Korniienko** [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. Vol. 4, No. 11 (124). P. 65–72. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.284885. *Особистий внесок: огляд та аналіз літературних джерел, проведення розрахунків та досліджень.*
3. Samilyk, M., **Korniienko, D.** Analysis and assessment of potential risks in the production of enriched sugar. Technology Audit and Production Reserves. 2024. 3 (3 (77)), 00–00. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.307282 (Категорія А). *Особистий внесок: здійснено пошук і аналіз літературних джерел за темою дослідження, самостійно виконано експериментальну частину роботи та відповідні розрахунки, взято участь у обговоренні й узагальненні одержаних наукових результатів.*

Розділ у колективній монографії:

4. Самілик М., **Корнієнко Д.** Застосування похідних продуктів переробки дикорослих ягід для збагачення пресованого цукру. Sustainable food chain and safety through science, knowledge and business : Scientific monograph. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2023. P. 207–220. DOI 10.30525/978-9934-26-328-6-10 *Особистий внесок: опрацювання наукової літератури з обраної проблематики, безпосереднє проведенні лабораторних досліджень і необхідних обчислень, формулювання висновків на основі отриманих даних.*

5. Substantiation of the efficiency of the method for processing viburnum by the method of osmotic dehydration / M. Samilyk, **D. Korniienko**, E. Demidova [et al.] // EUREKA: Life Sciences. 2022. № 6. P. 60–68. DOI: 10.21303/2504-5695.2022.002693. *Особистий внесок: аналітичний огляд вітчизняних та закордонних літературних джерел, організовано та проведено експериментальні дослідження з відповідними розрахунками, взято безпосередню участь в інтерпретації та узагальненні результатів.*

Статті у фахових виданнях категорії «Б»:

6. Самілик М., **Корнієнко Д**. Аналіз виду цукрів та розширення його асортименту в Україні. ВНТ: Biota, Human, Technology. 2023. № 1. С. 94–108. DOI: 10.58407/bht.1.23.7 *Особистий внесок: критичний аналіз наукових публікацій за темою дисертації, самостійне виконання експериментальних досліджень і розрахункових процедур, а також співучасть в узагальненні отриманих даних.*

7. Самілик М.М., Корнієнко Д.А. Розроблення технології одержання збагаченого цукру. Науковий вісник Львівського університету ветеринарної медицини та біотехнології імені С.З.Гжицького, Серія: Харчові технологіх. 2022. №98. DOI: 10.32718/nvlvet-f9805. *Особистий внесок: проведено огляд і систематизацію наукової літератури, особисто виконано весь обсяг експериментальних досліджень та супутніх розрахунків, здійснено участь в аналізі й узагальненні кінцевих результатів дослідження.*

8. Самілик М.М., **Корнієнко Д**. Дослідження впливу високих температур на збагачений цукор та продукти його переробки. Таврійський науковий вісник №4. 2024. https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.28. *Особистий внесок: опрацьовано літературні джерела за напрямом дослідження, реалізовано програму експериментальних досліджень з проведенням необхідних розрахунків, а також взято участь у формулюванні наукових узагальнень за результатами роботи.*

Тези доповідей та матеріали конференцій

9. Самілик М., **Корнієнко Д.** Збагачений цукор для кав'ярень, як корисна альтернатива солодощам. *Інновації харчових та крафтових технологій для*

HoReCa : зб. тез доп. III Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студентів з міжнар. участю (м. Львів, 18 трав. 2023 р.). Львів, 2023. С. 289–292. *Особистий внесок: вивчення та критичне осмислення наукових джерел з обраної тематики, самостійна постановка та проведення експериментів, виконання необхідних розрахунків, участь у трактуванні отриманих закономірностей.*

10. Самілик М., **Корнієнко Д.** Дослідження якості збагаченого цукру дикорослими ягодами Viburnum opulus. *Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів* : матеріали IX міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 24 берез. 2023 р.). Полтава, 2023. С. 172–173. *Особистий внесок систематизація наявних наукових знань з проблеми дослідження, власноруч проведені експериментальні випробування та відповідні обчислення, активна участь у аналізі й узагальненні здобутих результатів.*

11. Самілик М., **Корнієнко Д.** Дослідження показників якості збагаченого цукру похідними дикорослих рослин. *Інновації харчових та крафтових технологій для HoReCa* : зб. тез доп. IV Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студентів з міжнар. участю (м. Львів, 30 трав. 2024 р.). Львів, 2024. *Особистий внесок: аналітичне опрацювання літературних джерел за напрямом дисертації, самостійно реалізовано експериментальну програму досліджень із проведенням розрахунків, здійснено участь у науковому осмисленні одержаних даних.*

12. **Теленкова Д. А.,** Самілик М. М. Технологія переробки похідних від рослин продуктів на цукор з підвищеною біологічною цінністю. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України* : матеріали I Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених (м. Запоріжжя, 19–21 жовт. 2021 р.). Запоріжжя, 2021. С. 484–485. *Особистий внесок: вивчення стану проблеми за даними наукової літератури; безпосередньому виконанні експериментальних досліджень та обчислювальних процедур; співавторстві в узагальненні результатів дисертаційної роботи.*

13. **Теленкова Д. А.,** Самілик М. М**.** Спосіб збагачення цукру плодами обліпихи. *Інформаційні та інноваційні технології у готельно-ресторанному*

бізнесі, туризмі та дизайні : матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Дніпро, 1–2 груд. 2021 р.). Дніпро, 2021. *Особистий внесок: огляд літературних джерел, проведення експериментальних досліджень та розрахунків, участь у узагальненні отриманих результатів, участь автора*.

14. **Теленкова Д. А.,** Самілик М. М**.** Застосування осмотичної дегідратації для зневоднення дикорослих ягід. *Інноваційні та ресурсозберігаючі технології харчових виробництв* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Полтава, 21 груд. 2021 р.). Полтава, 2021. *Особистий внесок: проведення інформаційного пошуку та аналізу наукової літератури за проблематикою роботи, самостійне здійснення експериментальних досліджень і супутніх розрахунків, участь у інтерпретації та науковому узагальненні отриманих результатів.*

15. **Теленкова Д. А.,** Самілик М. М**.** Нове в створенні збагаченого цукру. *Матеріали Всеукр. наук. конф. студентів і аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента* (м. Суми, 15–19 листоп. 2021 р.). Суми, 2021. С. 494.*Особистий внесок: огляд і критичний аналіз літературних джерел з тематики дослідження, виконано експериментальну частину роботи з відповідними розрахунками, взято участь у розробці наукових висновків за результатами дослідження.*

ЗМІСТ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ……..13
ВСТУП……...14
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ЗБАГАЧЕННЯ ЦУКРУ……21
1.1 Роль цукру у харчуванні та промисловості ……..21
1.2 Аналіз асортименту цукру у світі та в Україні……..23
1.3 Збагачення харчових продуктів……..32
1.3.1 Сировина для збагачення харчових продуктів……32
1.3.2 Технологічні аспекти збагачення харчових продуктів……..50
1.4 Інноваційні підходи до створення збагачених видів цукру ……52
Висновки до розділу 1……54
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ……..56
2.1 Об'єкт, предмет та матеріали дослідження……56
2.2 Методи дослідження відпрацьованих осмотичних розчинів……...58
2.2.1 Органолептична оцінка відпрацьованих осмотичних розчинів……58
2.2.2 Методика визначення фізико-хімічних та мікробіологічних показників відпрацьованих осмотичних розчинів……59
2.2.3 Методики визначення харчової та біологічної цінності відпрацьованих осмотичних розчинів……59
2.3 Методи дослідження збагаченого цукру……60
2.3.1 Органолептична оцінка ……60
2.3.2 Визначення фізико-хімічних показників якості збагаченого цукру……61
2.3.3 Визначення показників безпечності збагаченого цукру……62
2.3.4 Визначення вмісту вітаміну С у збагаченогому цукрі……62
2.3.5 Визначення вмісту флавоноїдів та антоціанів у збагаченогому цукрі……63
2.3.6 Визначення масової частки вуглеводів у збагаченогому цукрі……64
2.3.7 Визначення амінокислотного складу збагаченого цукру……..64
2.4 Методи дослідження карамелі, виготовленої на основі збагаченого цукру……...64
Висновки до розділу 2……65
РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОСМОТИЧНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ ЦУКРУ……...…66
3.1 Органолептичні показники відпрацьованих осмотичних розчинів……69
3.2 Фізико-хімічні та мікробіологічні показники відпрацьованих осмотичних розчинів……...71
3.3 Харчова та біологічна цінність відпрацьованих осмотичних розчинів……74
Висновки до розділу 3……...78
РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗБАГАЧЕНОГО ЦУКРУ……..81
4.1 Технологічні аспекти використання відпрацьованих осмотичних розчинів для виробництва збагаченого цукру……..81
4.2 Органолептичні показники якості збагаченого цукру……83

4.3 Фізико-хімічні показники якості збагаченого цукру……85
4.4 Показники безпечності збагаченого цукру……91
4.5 Харчова та біологічна цінність збагаченого цукру……93
Висновки до розділу 4……98
РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗБАГАЧЕНОГО ЦУКРУ……101
5.1 Розроблення системи НАССР виробництва збагаченого цукру……..101
5.1.1 Загальна характеристика системи НАССР та обґрунтування її впровадження……...101
5.1.2 Опис продукту та визначення призначення……102
5.1.3 Технологічна блок-схема виробництва та верифікація на місці……104
5.1.4 Ідентифікація небезпечних чинників у сировині та матеріалах……..105
5.1.5 Матриця оцінки ризиків виробництва……...109
5.1.6 Визначення критичних контрольних точок та план НАССР……..112
5.1.7 Програми-передумови та допоміжні заходи……118
5.1.8 Верифікація та валідація системи НАССР……121
5.2 Технологічні аспекти використання збагаченого цукру для виробництва карамелі.....122
5.2.1 Технологія натуральної льодяникової карамелі……...122
5.2.2 Оцінка якості натуральної льодяникової карамелі……..124
5.2.3 Оптимізація технологічних параметрів виробництва карамелі на основі збагаченого цукру……128
Висновки до розділу 5……138
ВИСНОВКИ……140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...…142
ДОДАТКИ……...154

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВОР	Відпрацьований осмотичний розчин
ЗЦ	Збагачений цукор
БАР	Біологічно активні речовини
ОД	Осмотична дегідратація
АК	Аскорбінова кислота
НАК	Незамінні амінокислоти
ДП	Добова потреба (у нутрієнті)
СР	Сухі речовини
МЧСР	Масова частка сухих речовин
РР	Редукуючі речовини
ГДК	Гранично допустима концентрація
АТФ	Аденозинтрифосфат
ICUMSA	Міжнародна комісія уніфікованих методів аналізу цукру (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis); одиниці кольоровості цукру
CIP/SIP	Миття та санітарна обробка на місці (Cleaning in Place / Sterilizing in Place)
HACCP	Аналіз небезпечних чинників та критичні точки контролю (Hazard Analysis and Critical Control Points)
ККТ	Критична контрольна точка
МАФАМ	Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми
КУО	Колонієутворюючі одиниці
БГКП	Бактерії групи кишкової палички
ВЕРХ	Високоефективна рідинна хроматографія
ДСТУ	Державний стандарт України
ТУ	Технічні умови

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Вибір продуктів харчування, зроблений споживачами, має великий вплив на їх здоров'я. Вуглеводи забезпечують до 60 % добової енергоцінності раціону людини, а цукор, вміст сахарози в якому становить 99,75–99,9 %, є продуктом масового щоденного споживання. Водночас, дефіцит мікронутрієнтів має поширений характер у світовому масштабі, а стратегія збагачення харчових продуктів мікро- та макронутрієнтами визнана найбільш економічно вигідним інструментом його подолання. У зв'язку з цим цукор, як доступний продукт масового вжитку, розглядається як ефективний «транспортний засіб» для доставки біологічно активних речовин до широких верств населення.

Асортимент цукру, представлений на вітчизняному ринку, залишається обмеженим і зосередженим переважно на традиційних бурякових видах – кристалічному та пресованому цукрі, тоді як у світовій практиці існує широкий спектр збагачених і функціональних видів цукру. Мало дослідженими та висвітленими в науковій літературі є питання теоретичного та експериментального обґрунтування використання регіональних похідних переробки дикорослої плодово-ягідної сировини для збагачення цукру. Особливий інтерес становить дикоросла сировина регіонального значення Сумської та суміжних областей – плоди обліпихи (*Hippophae rhamnoides L.*), калини (*Viburnum opulus*), бузини чорної (*Sambucus nigra*) та горобини звичайної (*Sorbus aucuparia*), які завдяки високому вмісту вітамінів С, Е, К, флавоноїдів, антоціанів, органічних кислот та амінокислот можуть бути використані у виробництві функціональних цукропродуктів.

Заготівля дикорослих плодів і ягід у лісах України становить щорічно лише 2,0–3,2 тис. тон за значно вищого наявного ресурсного потенціалу, що пояснюється відсутністю розвиненої інфраструктури первинної переробки та обмеженим асортиментом продукції на основі цієї сировини.

Перспективним високотехнологічним рішенням у переробці дикорослої сировини є комбінований спосіб, який поєднує осмотичну дегідратацію та фінішне сушіння. Теоретичні та практичні засади реалізації ОД детально вивчено у працях таких українських та іноземних дослідників, як М. М. Самілик, В. О. Потапов, І. Ю.

Захарова, О. І. Черевко, J. D. Ponting, D. Ramaswamy, W. E. L. Spiess, M. Lacroix.Паралельно розвивався напрям збагачення сахарози фітокомпонентами та мікронутрієнтами (роботи І. Г. Гриненко, Л. М. Хомічака, G. Arroyave). Проте відомі методики фортифікації (введення синтетичних вітамінів, мінералів, сухих порошків) мають низку обмежень: вони зумовлюють погіршення сенсорних характеристик через деформацію кристалічної решітки сахарози, призводять до появи каламутності й осаду, вимагають високих питомих енерговитрат на зневоднення і характеризуються недостатнім обґрунтуванням концентрації добавок. Це зумовлює необхідність удосконалення існуючих технологічних рішень.

Перспективною альтернативою є використання відпрацьованих осмотичних розчинів – побічних продуктів переробки рослинної сировини, які містять природний комплекс біологічно активних речовин у нативній, добре розчинній формі і наразі здебільшого утилізуються без промислового застосування, що супроводжується значними енергетичними витратами на регенерацію, додатковими витратами сировини та втратою цінних біологічно активних речовин. Розроблення технології з залученням таких розчинів до виробництва цукру відповідає принципам циркулярної економіки та концепції «чистого маркування» (*clean label*), дозволяючи розширити асортимент цукропродуктів з підвищеною біологічною цінністю. Таким чином, доцільно дослідити якість збагаченого цукру, виготовленого з використанням ВОР дикорослих плодів, та встановити їх функціональні властивості і можливості застосування у виробництві харчових продуктів, зокрема кондитерських виробів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася в межах науково-технічних тематик кафедри технологій та безпечності харчових продуктів 0122U200866 «Розроблення технологій комплексної переробки рослинної сировини на харчові продукти» (2022–2023 р.р.) за науковим напрямом «Раціональне природокористування» та 0124U002836 «Розробка технологій виробництва харчових продуктів з доданою вартістю на принципах сталого розвитку» (2024–2028 р.р.) за напрямком «Технологічне оновлення та розвиток АПК».

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є розроблення технології цукру, збагаченого похідним продуктом переробки дикорослої рослинної сировини (горобини звичайної, бузини чорної, калини звичайної, обліпихи крушиноподібної), з наступним використанням отриманого продукту у виробництві харчових продуктів з доданою вартістю.

У відповідності з поставленою метою було сформульовано наступні завдання досліджень:

- проаналізувати роль цукру у харчуванні та промисловості, асортимент цукру та шляхи використання дикорослої рослинної сировини – обліпихи (*Hippophae rhamnoides L.*), горобини звичайної (*Sorbus aucuparia*), калини звичайної (*Viburnum opulus*) та бузини чорної (*Sambucus nigra*) – для збагачення харчових продуктів;
- обґрунтувати доцільність використання ВОР, отриманих при переробці дикорослої рослинної сировини, для збагачення цукру;
- визначити органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники, а також харчову та біологічну цінність ВОР, отриманих при осмотичній дегідратації плодів дикорослих рослин;
- розробити технологічну схему виробництва збагаченого цукру-піску та збагаченого пресованого цукру; дослідити органолептичні, фізико-хімічні показники, показники безпечності, харчову та біологічну цінність готового продукту;
- дослідити амінокислотний, вітамінний та вуглеводний склад збагаченого цукру, виготовленого з використанням ВОР, утвореного при переробці чотирьох видів дикорослої сировини;
- провести розрахунок задоволення фізіологічних потреб організму в нутрієнтах при споживанні збагаченого цукру;
- розробити систему НАССР для виробництва збагаченого цукру як нового виду продукту;
- розробити технологію та дослідити показники якості карамелі, виготовленої з використанням збагаченого цукру;

– провести оптимізацію технологічних параметрів виробництва натуральної карамелі на основі збагаченого цукру методом математичного моделювання (RSM).

Об'єкт дослідження – технологія збагаченого цукру.

Предметом дослідження є: відпрацьовані осмотичні розчини, отримані після осмотичної дегідратації плодів калини звичайної (*Viburnum opulus*), горобини звичайної (*Sorbus aucuparia*), бузини чорної (*Sambucus nigra*) та обліпихи крушиноподібної (*Hippophae rhamnoides* L.); органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники збагаченого цукру, його біологічна та харчова цінність; показники якості натуральної льодяникової карамелі, виготовленої на основі збагаченого цукру.

Методи дослідження – загальноприйняті органолептичні, фізико-хімічні (рефрактометрія, потенціометрія, спектрофотометрія, поляриметрія, йодометрія), хроматографічні (високоефективна рідинна хроматографія, іонообмінна хроматографія), флуоресцентний, мікробіологічні методи, математичне моделювання та оптимізація (повнофакторний експеримент, методологія поверхні відгуку RSM, функція бажаності Харрінгтона), планування експерименту та статистична обробка експериментальних даних. Оброблення експериментальних даних та розрахунки виконувались із застосуванням програмного середовища Statistica 10 (StatSoft, Inc., США) та Microsoft Office Excel.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що *вперше***:**

– науково обґрунтувано та експериментально підтверджено доцільність використання ВОР, утворених при ОД плодів дикорослих рослин (калини звичайної, обліпихи крушиноподібної, бузини чорної, горобини звичайної) для підвищення біологічної цінності цукру;

– досліджено органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники та харчову і біологічну цінність ВОР, утворених при переробці плодів дикорослих рослин (калини звичайної, обліпихи крушиноподібної, бузини чорної, горобини звичайної);

– встановлено закономірності переходу вітаміну С, флавоноїдів, амінокислот та вуглеводів із плодів дикорослих рослин у ВОР під час осмотичної дегідратації та їх збереження у збагаченому цукрі;
– розроблено технологічну схему виробництва збагаченого цукру (цукру-піску та пресованого цукру), обґрунтовано параметри технологічного режиму та апаратурно-технологічне забезпечення процесу;
– отримано нові наукові дані про якість (органолептичні та фізико-хімічні показники), хімічний склад, амінокислотний склад та біологічну цінність збагаченого цукру;
– розроблено систему НАССР для виробництва збагаченого цукру з ідентифікацією специфічних для цієї технології критичних чинників небезпеки та контрольних точок, зокрема на етапі ОД;
– розроблено технологію виробництва натуральної льодяникової карамелі на основі збагаченого цукру;
– отримано нові наукові дані про якість натуральної льодяникової карамелі на основі збагаченого цукру;
– отримано математичні моделі методом RSM, що описують вплив температури карамелізації, концентрації ВОР та вмісту біологічно активних речовин на вміст вітаміну С, органолептичну оцінку та колір натуральної карамелі, і на їх основі визначено оптимальні технологічні параметри виробництва.

Дістали подальшого розвитку та узагальнення:

– відомості про раціональний спосіб переробки рослинної сировини (калини звичайної, обліпихи крушиноподібної, бузини чорної, горобини звичайної) і використання побічних продуктів їх переробки;
– уявлення про збереження біологічної цінності рослинної сировини за рахунок використання ОД;
– уявлення про перебіг реакції Майяра та карамелізації у цукристих системах, збагачених природними амінокислотами й редукуючими цукрами;
– уявлення про формування якості та харчової цінності кондитерських виробів, виготовлених на основі збагаченого цукру.

Практичне значення одержаних результатів. Незважаючи на високу біологічну цінність та значне поширення на території України, плоди дикорослих рослин практично не використовуються у виробництві харчових продуктів. У роботі представлено ресурсозберігаючу технологію виробництва збагаченого цукру-піску та пресованого цукру на основі дикорослої рослинної сировини, яка може бути впроваджена на діючих цукрових підприємствах без суттєвих капітальних витрат. Запропонована технологія виробництва карамелі на основі збагаченого цукру та розроблена система НАССР можуть бути реалізовані в умовах діючих кондитерських виробництв. Розроблені технічні умови на цукор вітамінізований пресований можуть бути використані виробниками харчових продуктів. Запропонована технологія є ресурсозберігаючою і маловідходною, що позитивно впливає на довкілля, а збагачений цукор за вмістом окремих нативних речовин сприяє задоволенню фізіологічних добових потреб організму.

Реалізація роботи. Науково-технологічну розробку впроваджено на ТОВ «Радехівський цукор» (акт впровадження від 10 серпня 2023 р.): розроблені технічні умови «Цукор вітамінізований пресований» ТУ У 10.8-04718013–009:2023 та технологія виробництва збагаченого цукру пройшли виробничу апробацію на діючому підприємстві.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці програми експерименту, організації та проведенні аналітичних і експериментальних досліджень у лабораторних умовах, а також в аналізі, обробці та узагальненні отриманих результатів. Автором особисто сформульовано висновки та рекомендації, підготовлено матеріали до публікацій, у співавторстві з науковим керівником розроблено нормативну документацію на виготовлення цукру вітамінізованого пресованого.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертаційної роботи оприлюднено та обговорено на: Всеукраїнській науковій конференції студентів і аспірантів, присвяченій Міжнародному дню студента (м. Суми, 15–19 листопада 2021 р.); І Всеукраїнській науково–практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково–технічного та

соціально–економічного розвитку регіонів України» (м. Запоріжжя, 19–21 жовтня 2021 р.); ІІ Міжнародній науково–практичній інтернет–конференції «Інформаційні та інноваційні технології у готельно-ресторанному бізнесі, туризмі та дизайні» (м. Дніпро, 1–2 грудня 2021 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні та ресурсозберігаючі технології харчових виробництв» (м. Полтава, 21 грудня 2021 р.); ІХ Міжнародній науково–практичній інтернет–конференції «Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів» (м. Полтава, 24 березня 2023 р.); ІІІ Всеукраїнській науково–практичній конференції молодих учених, аспірантів і студентів з міжнародною участю «Інновації харчових та крафтових технологій для HoReCa» (м. Львів, 18 травня 2023 р.); IV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів і студентів з міжнародною участю «Інновації харчових та крафтових технологій для HoReCa» (м. Львів, 30 травня 2024 р.).

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 15 наукових працях, у тому числі: 1 розділ у колективній міжнародній монографії; 7 статей, з них 3 – у виданнях, включених до наукометричної бази Scopus, 3 – у наукових фахових виданнях України категорії «Б», 1 – у науковому періодичному виданні країни ЄС з напряму, за яким підготовлено дисертацію; 7 тез доповідей та матеріалів конференцій.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 136 найменувань, та 2 додатків. Обсяг основного тексту викладено на 141 сторінках, містить 19 рисунків та 29 таблиць.

РОЗДІЛ 1
ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ЗБАГАЧЕННЯ ЦУКРУ

1.1 Роль цукру у харчуванні та промисловості

Харчування являється одним з основних чинників, який має вплив на здоров’я людей. Дуже важливо забезпечити організм людини енергією і корисними нутрієнтами, а саме білками, жирами, вуглеводами, мінеральними речовинами та вітамінами. Основна функція, яку забезпечують вуглеводи є енергетична. Вони забезпечують до 60 % добової енергоцінності раціону людини [1].

Дефіцит легкозасвоюваних вуглеводів (глюкоза, фруктоза, галактоза, сахароза, лактоза, крохмаль та ін.) призводить до втрати запасів глікогену після цього відбувається порушення багатьох функцій організму людини. При окисненні жирних кислот, утворюються ряд неокиснених продуктів ліпідного обміну, також спалюються глікогенні амінокислоти, а тканинні білки використовуються як енергетичний матеріал. Для того щоб, попередити ці негативні явища на кожні 4 г жирів, що поступають разом з їжею, рекомендується споживати 1 г вуглеводів [2]. Дефіцит мікронутрієнтів поширений всесвітньо, і багато людей стикаються з його негативними наслідками для здоров'я. Стратегія збагачення харчових продуктів мікро/нутрієнтами є найбільш економічно вигідною для запобігання дефіциту. Розробка технологій для створення продуктів, збагачених біологічно активними речовинами, є актуальною в цьому контексті.

Цукор визнано одним із основних продуктів харчування. Недостатність цукру може призвести до серйозних розладів у функціонуванні організму людини. Який на 99,75-99,9 % складається із сахарози і є продуктом масового вживання [3]. Він вважається харчовим продуктом першої необхідності завдяки своїм цінним смаковим, фізичним та харчовим властивостям. Цей продукт віновлює сили та стимулює розумову активність. Цукор використовується не лише як джерело енергії, а як підсолоджувач та натуральний, доступний консервант при виробництві багатьох

харчових продуктів, відіграє важливу роль як структуроутворювач у харчових продуктах, регулюючи вміст води [4].

Попри очевидні переваги, цукор може бути і небезпечним для здоров’я. Надмірне споживання цукру призводить до серйозних негативних наслідків, включаючи ожиріння, цукровий діабет 2 типу, серцево-судинні захворювання, карієс та хронічні запалення. Він викликає залежність, погіршує стан шкіри (акне, старіння), знижує імунітет та порушує роботу мозку, пам'яті і травної системи.

Повна відмова від доданого цукру не завдає організму фізіологічної шкоди, оскільки необхідну глюкозу тіло отримує зі складних вуглеводів, проте вона супроводжується тимчасовим «синдромом відміни». У перші 1–2 тижні відчувається сильний головний біль, дратівливість, різка втома та зниження концентрації через падіння рівня дофаміну та перебудову метаболізму. Головна небезпека полягає у психологічному дискомфорті та ризику харчових зривів, якщо раціон не збалансований достатньою кількістю поживних речовин, що замінюють звичну енергію солодощів. Вживання цукру в помірних кількостях є корисним і навіть необхідним, оскільки він виступає основним джерелом енергії для життєдіяльності організму.

Оскільки цукор є доступним продуктом масового вживання, він слугує ефективним «транспортним засобом» для доставки вітамінів і мінералів до широких верств населення. Тому, поширеною світовою практикою для боротьби з дефіцитом мікронутрієнтів є збагачення цукру корисними нутрієнтами. У багатьох країнах діють державні програми обов'язкового збагачення цукру вітаміном А для профілактики хвороб зору та зміцнення імунітету. Також існують технології збагачення цукру вітаміном D, де нутрієнт наноситься на кристали цукру за допомогою спеціальних оболонок або інкапсуляції [5].

Таким чином, виробництво цукру, збагаченого мікронутрієнтами та біологічно активними сполуками, може розширити асортимент цукропродуктів з підвищеною корисністю.

1.2 Аналіз асортименту цукру у світі та в Україні

Основними джерелами для виробництва цукру в світі є цукрова тростина та цукрові буряки. Згідно даних The Sugar Market приблизно 40% світового обсягу цукру виробляється з цукрових буряків, а решта 60% – з цукрової тростини. Наразі цукор виробляється в близько 110 країнах, восьмох з яких виробляють цукор як із тростини, так із буряків [6]. Одними з головних учасників на ринку цукрової промисловості є Індія, Бразилія, Таїланд, Китай, США, Німеччина, Франція, Італія, Польща та Румунія. Прогнозується, що до 2026 року світове виробництво цукру зросте на 1,1% порівняно з 1966 роком і досягне 196 мільйонів метричних тонн, щорічне збільшення становитиме 0,8% [7].

Цукор з цукрової тростини може бути білим рафінованим, що забезпечує сахарозу у вмісті від 99,8% до 99,9% [8]. У такому випадку він практично не відрізняється від бурякового цукру. Проте під час переробки цукрової тростини утворюється напівфабрикат – цукор-сирець, який має темне забарвлення та потребує додаткової очистки, відомої як рафінування. Нерафінований цукор з цукрової тростини має коричневий колір та природний аромат. Він складається з кристалів цукру, покритих плівкою тростинної меляси, і повинен містити не менше 88% сахарози [9].

Технологічний процес виробництва тростинного цукру включає ті ж самі основні етапи, що й у виробництві цукру з буряків: перший етап це процес вилучення соку з тростини, потім аналогічно як в бурякоцукровому його очищення, згущення очищеного соку до сиропу та процес кристалізації цукру з сиропу [10].

Серед основних видів тростинного цукру можна відрізнити Демерара (Demerara sugar), Мускавадо (Muscavado sugar), Турбінадо (Turbinado sugar), та Чорний барбадоський (Black Barbados sugar). Демерара sugar є одним з популярних видів тростинного цукру, який отримав свою назву на честь долини річки та міста Демерара в Гайані, що розташована в Південній Америці. Кристали Демерара цукру є досить твердими, великими, липкими та мають золотисто–бурий колір. Вважається, що він представляє собою натуральний нерафінований цукор, але існують також види цього цукру, виготовлені з білого цукру але вже з додаванням меляси [11].

Нерафінований кусковий цукор з тростини має насичений карамельний смак і аромат, ідеально підходить для додавання до чаю та кави [12].

Цукор Демерара, який має золотисто–бурий колір та хрустку текстуру кристалів, виготовляється шляхом віджиму, очищення та кристалізації соку цукрової тростини. Завдяки високому вмісту тростинної патоки, цей коричневий цукор містить максимальну кількість корисних речовин, таких як кальцій, магній, залізо, фосфор, калій, натрій, і цинк, що підкреслює смак кави. Цукор Демерара має перевагу, оскільки засвоюється організмом довше, уникнувши надмірної ваги при розумному споживанні. Цей цукор ідеально підходить як додаток до кави, випічки, коктейлів та десертів, принесе задоволення своїм тропічним ароматом та корисними властивостями [13].

Мусковадо – це нерафінований цукор з мінімальною обробкою, що містить натуральну патоку та всі корисні речовини соку цукрової тростини. Він має коричневий колір, вологу текстуру і смак, який нагадує ірис. У складі мусковадо велика кількість мінералів (кальцій, калій, цинк, магній, фосфор, залізо, натрій) та вітаміни групи В. Цей цукор часто використовується в кондитерській справі і може бути доданий до різних напоїв, каш, маринадів, випічки, морозива, смузі та інших страв [14].

Турбінадо – це цінний підсолоджувач, отриманий з високоякісної цукрової тростини. Цей цукор має крупнозернисту структуру і бурштиновий колір кристалів. Виробництво турбінадо полягає у обробці соку цукрової тростини та повільному випаровуванні води, після чого кристали кристалізуються та обробляються на центрифузі. Частину меляси видаляють, щоб отримати кінцевий продукт. Турбінадо має світло–золотистий або бурштиновий колір і містить більше поживних речовин, порівняно з іншими підсолоджувачами, оскільки його виробництво включає меншу обробку. Цей метод виробництва робить його відмінним вибором для вегетаріанців, оскільки він не містить продуктів тваринного походження. Турбінадо також містить кальцій, магній, фосфор та натрій у невеликій кількості [15].

Чорний барбадоський цукор є найціннішим сортом коричневого цукру, який відрізняється багатим вмістом меласи. Цей продукт особливо корисний у раціоні

людей, які відновлюються після хвороби, схильних до алергічних реакцій, а також у дитячому харчуванні. Тростинний цукор належить до складних вуглеводів і сповільнює процес засвоєння в організмі. Незважаючи на те, що за калорійністю він подібний до білого цукру, тростинний цукор стає більш привабливим для вживання завдяки поступовому та тривалому засвоєнню та високому вмісту корисних речовин [16].

Цукор Panela, який спочатку був популярним лише на колумбійському ринку, тепер з'явився у чотирьох нових видах шоколаду, де використовується саме він, а не звичайний рафінований цукор. Особливість цього шоколаду полягає у тому, що він не такий солодкий, як інші, дозволяючи вам насолоджуватися більш насиченим смаком самого шоколаду. Цукор Panela отримують з цукрової тростини, яку вирощують в деяких регіонах Південної Америки та Індії. Цей цукор багатий на вітаміни та містить фосфор, кальцій, залізо, глюкозу та фруктозу, отриману в процесі виробництва. Процес включає збір тростини, переробку соку, фільтрацію, випаровування та охолодження для упаковки [17].

Льодяниковий тростинний цукор складається з чистих кристалів цукру, отриманих з цукрової тростини. Цей коричневий цукор розчиняється у рідині повільніше, ніж звичайний рафінований цукор. Використовується він як льодяник або додавання до коктейлів, глінтвейну, чаю та кави. Кам’яний рафінований цукор виготовляється з цукрової тростини, яка культивується у тропічних та субтропічних регіонах, таких як Бразилія, Колумбія, Маврикій. Процес виробництва полягає уварюванні цукрового сиропу за традиційною технологією. Цей цукор чудово підкреслює смак кави, чаю та екзотичних коктейлів і стає чудовим доповненням до різноманітних страв, випічки та десертів. Він має приємний смак, не залишає кислого присмаку в роті, як звичайний цукор, і повільно розчиняється у воді, зменшуючи споживання [18].

Широкий асортимент цукру з буряка має різноманітні класифікації, що базуються на органолептичних властивостях, фізико-хімічних характеристиках, формі та структурі.

У сфері кондитерського та хлібопекарського виробництва цукор представлений такими видами [19]:

Звичайний цукор-пісок (Regular Sugar) – це кристалічний цукор, який використовується як сировина для більшості цукровмісних продуктів та безпосередньо в їжу як підсолоджувач;

Фруктовий цукор (Fruit sugar) – має дрібніші та однорідні кристали і застосовується в сухих сумішах для приготування десертів, таких як желе, пудинги, сухі напої і т. д. Однорідність кристалів фруктового цукру запобігає відкладенню дрібних кристалів на дно упаковки, що є важливим критерієм якості сухих сумішей;

Пекарський цукор (Bakers Special) – містить дрібні та однорідні кристали і призначений для професійного використання у кондитерській справі. Він використовується для підсолоджування пончиків, печива та додається у тісто для досягнення необхідної структури випічки;

Ультрадрібний цукор (Superfine, Ultrafine або Bar Sugar) складається з найдрібніших кристалів, які швидко розчиняються. Використовується для приготування безе, пирогів з тонкою структурою, підсолоджування фруктів та холодних напоїв;

Кондитерська цукрова пудра, також відома як Confectioners або Powdered Sugar, складається з тонкоподрібнених кристалів цукру і використовується у кондитерській галузі для виготовлення глазурі та інших продуктів;

Грубий цукор містить крупні кристали, які стійкі до зовнішніх чинників;

Цукрова обсипка (Sanding Sugar) має великі кристали і використовується для зовнішнього прикрашання;

Інвертний цукор (Invert Sugar) є продуктом гідролізу цукрози на суміш глюкози та фруктози. Використовується в виробництві напоїв, кондитерському виробництві та виготовленні штучного меду.

В Україні асортимент цукру обмежений і складається переважно з бурякового цукру [20]. Цукор поділяється на кілька видів за способами виробництва, включаючи кристалічний, сахарозу для шампанського, цукрову пудру та пресований. Кристалічний цукор має кристали різних розмірів, від 0,2 мм до 2,5 мм. Пресований

цукор представлений у формі колотого, швидкорозчинного та пресованого дорожнього. Вміст сахарози в них коливається в межах від 99,61% до 99,7%. Пресований цукор отримується шляхом пресування кристалічного і, за більшістю фізико-хімічних показників, не відрізняється від кристалічного цукру.

У 2003 році на Гнідавському цукровому заводі під брендом «Солодко» було запущено виробництво «елітних» видів цукру, які були виготовлені за зразками провідних європейських виробників. Ця колекція включала в себе такі види цукру, як желювальний, природний неочищений буряковий, крупнокристалічний, дрібнокристалічний, пресований білий та природний цукор кандіс [21].

Особливий інтерес серед споживачів викликає «природний» цукор. Це нерафінований продукт коричневого кольору, який містить різноманітні мікро- та макроелементи, вітаміни, амінокислоти, мінеральні солі та біологічно активні речовини. Порівняно з білим цукром, він має загальнозміцнюючий, антикарієсний і антисклеротичний вплив на організм людини. Використання терміну «природний» додає цінності продукту, відповідаючи сучасній тенденції до споживання натуральних продуктів. Желювальний цукор виробляється шляхом додавання пектину. На Гнідавському цукровому заводі такі види цукру вже не виробляються, оскільки це не є перспективним напрямом і досить дороговартісним процесом [22].

Україна виробляє органічний цукор, який вважається продуктом майбутнього. Хоча кількість країн, що виробляють органічний цукор, не дуже велика, деякі з них пропонують органічну цукрову патоку, сироп і тростину, але не цукор. Вартість органічного цукру майже вдвічі вища, ніж звичайного, і це стає причиною того, що серед місцевого населення він не так популярний. Органічний цукор, насамперед, виробляється з органічних буряків, які містять менше токсинів. Однак він виробляється в основному для експорту [23].

Цукор-кандіс є продуктом кристалізації цукру і може бути різних розмірів та кольорів кристалів. В Україні цей продукт малодоступний і в основному реалізується для закладів ресторанного господарства [24].

Нават – це крупнокристалічний цукор у вигляді великих кристалів, який готують з суміші цукрового сиропу та виноградного соку за допомогою

перекристалізації цукру. Цей продукт є узбецьким національним десертом і зазвичай подається до гарячих напоїв. В порівнянні з цукром–льодяником, нават містить велику кількість біологічно активних речовин, оскільки до нього додається виноградний сік. В Узбекистані вірять, що цей цукор може бути корисним для здоров'я і довголіття, особливо коли споживається разом із зеленим чаєм [25].

У країнах Південної Америки та Азії для виробництва цукру популярно використовують декілька видів пальми, таких як кокосова, фінікова та цукрова. Цей цукор може мати різний колір від золотистого до темно–коричневого і нагадує смаком карамель з медом. Його вважають корисним, оскільки він проходить мінімальну теплову обробку і зазвичай вживається як солодощі, оскільки має низьку розчинність і швидко пригорає [26].

Кокосовий цукор отримують з соку кокосової пальми, і він може бути представлений у формі сиропу, нерафінованого кускового або цукру–піску [27].

Фініковий цукор і фініковий сироп часто плутають між собою. Фініковий цукор виготовляють шляхом перетирання сухих плодів, а сироп – із стовбура пальми. Виробники фінікового цукру часто просувають його як веганський або корисний, проте при додаванні в напої кристали не розчиняються, а набухають, тому їх використання таким чином не рекомендується [28].

Кленовий сироп, виготовлений з кленового соку, дуже популярний у всьому світі. Цей продукт має світло– або темно–коричневий колір і фруктовий запах, схожий на медову карамель або перезрілі яблука і груші. Кленовий цукор випускають у вигляді піску або брусків, які подрібнюються самостійно. Він є рівноцінною заміною тростинного цукру та застосовується в тій же кількості. У США та Канаді цьому виду цукру віддають перевагу у виробництві дитячого харчування, молочних продуктів та морозива. Однак, виробництво гранульованого кленового цукру не настільки рентабельне, як у випадку з тростинним цукром, тому має обмежений масштаб та є менш відомим [29].

Кленовий сироп – це концентрат кленового соку, який за фізичною ознакою представляє собою напівпрозору та тягучу рідину, солодку на смак і має приємний аромат. Згідно з канадським стандартом, сироп повинен містити не менше 66%

сахарози. Цей продукт є важливим джерелом багатьох поживних речовин і широко використовується як підсолоджувач до різних страв, таких як млинці, оладки, вафлі, морозиво, і також в косметичній промисловості [30].

Цукор з агави – це цукор, який видобувається з особливого виду кактусу, що росте в Мексиці. Він складається з сахарози та фруктози, має карамельний присмак та аромат і може бути доданий до різноманітних десертів, випічки, каш і напоїв [31].

Сироп агави виробляється з декількох видів рослини і має консистенцію, схожу на мед, а колір може варіюватися від світло– до темно–бурштинового, залежно від ступеня обробки [32]. Він також має карамельний присмак і може бути доданий до вафель, млинців та інших страв. Цей продукт широко застосовується серед людей, які приділяють увагу здоровому способу життя [33].

Сорговий цукор видобувається зі стебел злакових рослин і культивується у різних частинах світу, включаючи Південну і Північну Америку, Азію, Африку і Австралію. Цей вид цукру доступний для споживачів у формі густого сиропу, оскільки його кристалізація є економічно не доцільною. Через низьку рентабельність сорговий цукор виробляється у невеликій кількості, проте він використовується в харчовій промисловості як натуральний підсолоджувач [34].

Однією з найбільш очевидних тенденцій на ринку цукру з функціональними властивостями є зростання споживачами переваги натуральних та рослинних продуктів, що відображає підвищений попит на інгредієнти з «чистим» маркуванням. Виробники зосереджуються на розробці збагачених цукрів БАР, отриманих з природних джерел, таких як стевія, монах-фрукти та тагатоза, які приваблюють споживачів, які дбають про своє здоров'я. Також зростає акцент на цукрах з низьким глікемічним індексом, які підтримують харчові формули, дружні до діабетиків. Крім того, набирає обертів суміш цукрів з пребіотиками та пробіотиками, поєднуючи численні переваги для здоров'я в одній формулі. Ще однією ключовою тенденцією є інновації продуктів, орієнтовані на конкретні потреби споживачів, такі як альтернативи цукру, що покращують здоров'я зубів або покращують кишкову мікробіоту. Інтеграція цифрових технологій, таких як блокчейн, для прозорості та

відстеження ланцюга поставок також розвивається, забезпечуючи якість та сталий розвиток продукції [35].

Розроблено технологію виготовлення харчового сиропу із сорго як корисної альтернативи цукру. Отриманий продукт мав збалансований склад: 50–55% сахарози, 15–30% глюкози та 10–15% фруктози. Технологічний процес виробництва сиропу із сорго базується на очищенні соку, гідролізі крохмалю, видаленні високомолекулярних сполук шляхом коагуляції, фільтрації та подальшому згущенні маси. Такий сироп рекомендовано як функціональний інгредієнт для виробництва продуктів здорового харчування [36].

Китайська технологія видобутку цукру з евкаліпта передбачає багатоетапну переробку деревної сировини: спочатку з неї вилучають геміцелюлозу, яку згодом обробляють кислотою для вивільнення цукрів. Отриманий розчин проходить стадії випаровування та кристалізації, що дозволяє досягти високої ефективності виробництва – вихід готового продукту становить від 78% до 85% [37].

Технологія виготовлення біоцукру з червоних морських водоростей Gracilaria verrucosa [38] базується на поєднанні дії лимонної кислоти та ферментативного гідролізу. Цей підхід вважається економічно вигідним та екологічно безпечним, оскільки простота методу дозволяє повністю відмовитися від використання агресивних хімічних речовин.

Також, батат (Ipomoea batatas) є перспективною сировиною для виробництва цукру та етанолу, оскільки солодка картопля містить більше 20% вуглеводів, а картопля з червоною м’якоттю багата на сахарозу. Такі дослідження свідчать про потенційну альтернативу в сировині для цукрової промисловості [39].

У глобальній практиці виробництва цукру новим напрямком є додавання харчових добавок для підвищення смакових, харчових, біологічних та медичних властивостей [40]. У Чехії кристалічний цукор «Dortela» збагачують смаковими добавками, такими як кава, ванілін та ананасова есенція, для використання у кондитерській промисловості [41]. У Швейцарії розроблено спосіб виробництва ароматизованого цукру [42]. Японська компанія «Nisin Sieto» розробила технологію виробництва цукру, збагаченого мінеральними речовинами [43].

Деякі країни випускають цукор, який містить вітамін А, з метою зменшення дефіциту цього вітаміну в харчуванні у країнах, що розвиваються [44].

У Франції розроблено технологію виробництва кольорового та ароматизованого цукру, який містить натуральні або синтетичні екстракти квітів та плодів [45].

Розроблена технологія збагачення цукру вітаміном А виявилася складною та тривалою [46]. Запропоновано включати використання рослинних добавок на основі м'яти, імбиру та малини. Результати органолептичної оцінки збагаченого цукру, його мінерального складу та енергетичної цінності, були продемонстровані, проте відсутні роз'яснення щодо способу збагачення та кількості добавки [47].

Розроблено цукровмісний продукт у експериментальних умовах, який включає мальтодекстрин, тростинну патоку та японську ламінарію. У звіті не міститься інформації про те, яка може бути орієнтовна ціна такого продукту. Однак, з урахуванням ринкової вартості компонентів, можна припустити, що ціна продукту може збільшитися вдвічі [48].

Цукор Хуахай Шунда з імбирно–коричневим відтінком виготовляється виключно з натуральних інгредієнтів [49]. Цей продукт виготовляється виключно з натуральної сировини із збереженням традиційних методів виробництва. Завдяки додаванню патоки в рецептуру цукор набуває характерного імбирно–коричневого відтінку і злегка зменшеного порівняно зі звичайним рафінованим цукром вмісту сахарози. Наявність патоки збагачує продукт мінеральними речовинами та надає йому особливого карамельного аромату, що робить його привабливою альтернативою для споживачів, які віддають перевагу натуральним підсолоджувачам з мінімальною технологічною обробкою.

Представлено метод виробництва жовтого цукру, в який додаються рослинні порошки з м'яти, ягід малини, чорноплідної горобини, калини, обліпихи та коріння імбиру у кількості 15% від маси цукру. Недоліком такого продукту є те, що рослинні домішки не розчиняються, утворюючи осад у напоях [50].

Запропоновано технологію збагачення цукру-піску рослинними компонентами. Для цього була обрана така рослинна сировина, як обліпиха, малина, м’ята і імбир.

Процес складається з двох основних етапів: на першому етапі проводиться підготовка рослинної сировини для збагачення, а на другому – одержання збагаченого цукру. Дослідження органолептичних та хімічних показників підтвердило, що цукор, збагачений рослинними компонентами, містить більше біологічно-активних речовин порівняно зі звичайним цукром [51].

Розглянуто можливість використання екстрактів шипшини, глоду і цитрусових у відношенні 2:2:1 у кількості 10–15 % для збагачення цукру. Використання технології гранулювання цукру дозволяє отримати продукти з однорідним складом, зберігаючи нативні властивості внесених добавок. Однак використання екстрактів призводить до збільшення енерговитрат на процес сушіння цукру [52].

Існує відомий метод отримання кристалічного цукру для спортивного харчування, який передбачає введення мінеральних функціональних компонентів у розчинений цукор та його повторне викристалізування. Проте, цей процес призводить до погіршення органолептичних властивостей цукру, оскільки мінерали вбудовуються у кристалічні решітки [53].

Групою вчених з Індонезії була запропонована технологія виготовлення збагаченого цукру з плодів манго. Отриманий таким чином цукор багатий вітаміном С, Е, бета-каротином та антиоксидантами. Основні кроки у процесі включають екстракцію, згущення та кристалізацію. Манговий цукор може бути відмінною альтернативою тростинному цукру [54].

1.3 Збагачення харчових продуктів

1.3.1 Сировина для збагачення харчових продуктів

Аналіз сировини, придатної для збагачення продуктів, включає в себе дослідження якісних та кількісних характеристик сировини, таких як вміст поживних речовин, вітамінів, мінералів, антиоксидантів та інших біологічно-активних речовин [55]. Також важливо оцінити властивості сировини, її потенційні переваги та можливі ризики для здоров'я. Цей аналіз допомагає визначити оптимальні методи та технології збагачення продуктів, а також встановити оптимальні дози добавок для досягнення максимальної користі для споживачів [56].

Сировина, яка використовується для збагачення продуктів, може бути різноманітною і залежить від конкретних потреб і цілей збагачення [57].

Використання плодів і ягід, таких як малина, обліпиха, чорноплідна горобина, манго та шипшина, дозволяє наситити цукор вітамінами, антиоксидантами та іншими біологічно активними сполуками.

Використання рослинних екстрактів (м’яти, імбиру, шипшини, глоду тощо) дозволяє одночасно збагачувати цукор вітамінами та надавати йому унікальних природних ароматів і смакових відтінків.

Додавання трав і спецій, зокрема кореня імбиру, дозволяє наситити цукор вітамінами й антиоксидантами, водночас надаючи йому специфічних смакових якостей та інтенсивного аромату.

Для підвищення поживної цінності цукру до нього можуть додавати мінеральні сполуки, зокрема кальцій, залізо та цинк, які є життєво важливими для підтримання здоров'я організму.

Використання природних екстрактів дозволяє збагатити цукор вітамінами, антиоксидантами та іншими біологічно активними сполуками, підвищуючи їхню біологічну цінність.

Ці різноманітні види сировини можуть бути використані для створення продуктів з підвищеною біологічною цінністю та збереженням їх природних властивостей.

Продукти, збагачені похідними фруктів та ягід, зазвичай є більш привабливими для споживачів, оскільки вони мають природний походження і асоціюються зі здоровим способом життя. Вони містять значні кількості вітамінів С, Е, а також бета-каротину та інших антиоксидантів, які мають велике значення для здоров'я. Їх використання дозволяє підвищити біологічну цінність продуктів. Також надають продуктам природний смак і аромат, що робить їх більш привабливими для споживачів. Додавання фруктів та ягід до продуктів може збільшити їх поживну цінність, забезпечуючи додатковими вітамінами, мінералами та іншими корисними речовинами. Використання фруктів та ягід дозволяє створювати різноманітні

продукти з різними смаками та харчовою цінністю, що розширює асортимент товарів [58].

Таким чином, використання фруктів та ягід для збагачення продуктів є доцільним з погляду підвищення їх харчової цінності, привабливості для споживачів та розширення асортименту.

Дикорослі ягоди, такі як горобина, бузина чорна, калина звичайна, обліпиха і інші, є цінним джерелом вітамінів та інших корисних біологічно активних речовин. Україна багата на різноманітні види плодових та ягідних рослин, серед яких особливе значення мають саме дикорослі ягоди. Ці ягоди містять велику кількість вітамінів С, Е і β–каротину, а також різноманітні фенольні сполуки, такі як антоціани, катехіни, флавоноли, а також дубильні, пектинові та мінеральні речовини. Завдяки своєму унікальному хімічному складу вони мають різнобічні лікувально-профілактичні властивості [59].

Особливого значення дикорослі ягідні рослини мають для північно-східного регіону України – Сумської області та суміжних з нею Чернігівської, Полтавської та Харківської областей, що належать до лісової та лісостепової природних зон. Лісистість території Сумської області становить 17,9–18,6 %, що перевищує середній показник по Україні (15,9 %); загальна площа земель лісового фонду області досягає 452,1 тис. га, з яких вкрито лісовою рослинністю 425,0 тис. га. У структурі чагарникових порід лісів регіону, поряд із ліщиною та бруслиною, стабільно присутні калина звичайна, бузина чорна та горобина звичайна, які формують підлісок дубово-соснових і мішаних лісів Полісся та лісостепової зони, а також трапляються на узліссях, у балках і заплавах річок Десна, Сейм, Псел і Ворскла. Обліпиха крушиновидна, хоча й має менш виражений природний ареал у регіоні, активно культивується та дичавіє на піщаних терасах річкових долин.

Найвищі показники заготівлі продукції побічного лісокористування традиційно демонструють лісогосподарські підприємства Полісся, до зони якого належить і північна частина Сумської області. Водночас фактичні обсяги промислової заготівлі дикорослої ягідної сировини залишаються значно нижчими за наявний ресурсний потенціал регіону, що пояснюється відсутністю розвиненої інфраструктури

первинної переробки та обмеженим асортиментом продукції на основі цієї сировини. Зазначене створює передумови для розробки нових технологій раціонального використання дикорослих ягід Сумської та суміжних областей, зокрема шляхом їх переробки в осматовані розчини для подальшого застосування у виробництві збагачених цукристих продуктів [86], [87], [88].

Регулярне вживання функціональних харчових продуктів і добавок, які мають адаптогенні та антиоксидантні властивості, може сприяти усуненню або зменшенню дизрегуляції і нормалізації імунного статусу організму. Цей метод здається більш природним порівняно зі застосуванням фармакологічних препаратів чи імуномодуляторів прямої дії. Слід зауважити, що вітаміни, антиоксиданти і адаптогени, які містяться у природних комплексах рослинного та тваринного походження, проявляють активнішу і тривалішу дію, взаємно стабілізуючи один одного та посилюючи біологічні ефекти [60].

Один із способів профілактики негативних змін у стані здоров'я різних груп населення – це використання природних комплексів рослинного походження. Тому особливу важливість має використання дикорослих ягід, які, крім вмісту вітамінів та мінеральних речовин, містять біофлавоноїди та Р–вітамінні речовини, що надають ягодам відтінки від червоного до темно–фіолетового кольору, і мають антиоксидантні та імуномодулюючі властивості. Ці ягоди виділяються серед дикорослих ягід своїм хімічним складом та лікувально–профілактичною дією. До них відносяться аронія, бузина чорна, калина та інші. Ці дикорослі ягоди можна вживати у свіжому або консервованому вигляді, як сиропи, пюре, напої, концентровані соки, порошки, екстракти та інше [61], [62], [63]. Нижче подано характеристику дикорослих ягід, що використовувалися у дослідженні.

Горобина звичайна *(Sorbus aucuparia*), належить до родини розових (Rosaceae). Хімічний склад горобини звичайної представлено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Хімічний склад горобини

БАР	Вміст, мг/100 г	Функціональна дія	Джерело
Вітаміни			
С	50–100	Антиоксидантна дія; підвищення імунітету; участь у синтезі колагену	[64]
Р	–	Підвищення стійкості кровоносних судин; антиінфекційна дія	[64]
Е	1–5	Антиоксидантна дія; захист клітинних мембран від окиснення	
К	0,4	Регуляція згортання крові; підтримка здоров'я кісток	
Каротин	5–12	Антиоксидантна дія; підтримка зору та імунної системи	
B_2	0,05–0,08	Участь в енергетичному обміні; підтримка здоров'я шкіри	
Фенольні сполуки			
Флавоноїди (кверцетин, кемферол, рутин)	20–240	Антиоксидантні властивості; зміцнення серцево-судинної системи	[65]
Антоціани	–	Антиоксидантна та протизапальна дія; капілярозміцнювальний ефект	
Дубильні речовини (таніни, катехіни)	300–1500	Протизапальна, в'яжуча, антимікробна дія	
Фенольні сполуки з Р-вітамінною активністю	2000–15000	Антиоксидантна та капілярозміцнювальна дія	
Органічні кислоти			
Яблучна, лимонна, винна, бурштинова, сорбінова	0,7–1,3	Регуляція кислотно-лужного балансу; антимікробна дія; стимуляція травлення	[8]
Мінеральні речовини			

Продовження таблиці 1.1

БАР	**Вміст, мг/100 г**	**Функціональна дія**	**Джерело**
Кальцій	42	Формування кісткової тканини та зубів; регуляція м'язових скорочень	[64]
Калій	230	Підтримка серцево–судинної системи; регуляція водно–електролітного балансу	
Магній	33	Підтримка нервової системи; участь у понад 300 ферментативних реакціях	
Йод	6,4–10,0	Підтримка функції щитоподібної залози; регуляція обміну речовин	
Вуглеводи			
Цукри	6,2–10,8	Джерело енергії; фруктоза засвоюється без інсуліну	[65]
Пектинові речовини	0,65–0,75	Нормалізація травлення; виведення важких металів та токсинів; пребіотична дія	
Клітковина	1,5–2,7	Нормалізація перистальтики; пребіотична дія; зниження рівня холестерину	

Горобина звичайна, завдяки своїм хімічним компонентам, має багатий арсенал лікувальних і корисних властивостей, що робить її цінним ресурсом як для харчування, так і для медичного використання.

Дослідження показали, що плоди горобини мають лікувальні властивості, завдяки біологічно активним речовинам (БАР), які входять до їх складу. Їх використовують при різних захворюваннях, таких як гіпертонія, атеросклероз, захворювання нирок, пов'язані з підвищеною проникністю та ламкістю кровоносних капілярів. Органічні сполуки йоду, присутні в плодах горобини, допомагають виводити холестерин з організму і позитивно впливають на роботу щитовидної залози [65].

Споживання плодів корисне також для людей з діабетом, оскільки вони містять сорбіт, альтернативу цукру. Крім того, вміст амігдаліну і α–токоферолу у ягодах

полегшує перебіг нервових, серцево–судинних і шлунково–кишкових захворювань [66].

Проте, слід бути обережним при вживанні плодів горобини та інших ягід, що містять багато фенольних сполук, у людей із збільшеним протромбіновим індексом. Крім того, ці плоди та сік протипоказані при виразках шлунку та дванадцятипалій кишці, а також при гастриті з підвищеною кислотністю [67].

Бузина чорна (*Sambucus nigra* L.), належить до родини Жимолостевих. Цінність плодів бузини полягає у високому вмісті низькомолекулярних фенольних сполук та поліфенолів. Значна частина цих сполук складається з антоціанів. У плодах міститься 18,2% сухих речовин, включаючи цукри у кількості 5,2 –7,4%, пектини у кількості 1%, та кислоти у кількості 1,3%. Варто відзначити, що цукри у плодах бузини, яка росте в Україні, переважно представлені глюкозою. Крім того, у складі ягід присутні дубильні речовини, вільні амінокислоти, клітковина, органічні кислоти (як яблучна, винна, валер'янова, оцтова, кавова), каротин, рутин, аскорбінова кислота, ефірні олії, слизисті речовини, камеді, віск, та мінеральні солі [98].

Таблиця 1.2

Хімічний склад бузини

БАР	**Вміст, мг/100 г**	**Функціональна дія**	**Джерело**
Вітаміни			
C	6–35	Антиоксидантна дія; підвищення імунітету; участь у синтезі колагену	[69]
A (β-каротин)	0,3–0,7	Антиоксидантна дія; підтримка зору та імунної системи; регуляція росту клітин	
B_1 (тіамін)	0,05–0,07	Участь в енергетичному обміні (метаболізм вуглеводів); підтримка нервової системи	
B_2 (рибофлавін)	0,06–0,08	Участь в енергетичному обміні; підтримка здоров'я шкіри та слизових оболонок	
B_6	0,07–0,10	Участь у метаболізмі амінокислот; підтримка імунної та нервової системи	[98]
B_9 (фолієва кислота)	3,0–5,0	Синтез нуклеїнових кислот; підтримка кровотворення; необхідна при вагітності	

Продовження таблиці 1.2

БАР	Вміст, мг/100 г	Функціональна дія	Джерело
Фенольні сполуки			
Антоціани (ціанідін-3-глюкозид, ціанідін-3-самбубіозид)	200–1000	Потужна антиоксидантна та протизапальна дія; кардіопротекторний та капілярозміцнювальний ефект; антиканцерогенна активність	[98]
Флавоноїди (кверцетин, рутин, ізокверцетин, кемферол)	20–300	Антиоксидантні властивості; зміцнення серцево-судинної системи; протизапальна та антимікробна дія	
Хлорогенова та неохлорогенова кислоти	30–120	Антиоксидантна, протизапальна дія; регуляція рівня глюкози в крові; гепатопротекторний ефект	
Органічні кислоти			
Яблучна, лимонна, хінна, шикімова	0,5–1,0	Регуляція кислотно-лужного балансу; стимуляція травлення; антимікробна дія	[69]
Самбунігрин (ціаногенний глікозид)	сліди (у зрілих)	У зрілих плодах – мінімальна кількість; нейтралізується термообробкою; у сирих – слабко токсичний	
Мінеральні речовини			
Кальцій	38–48	Формування кісткової тканини та зубів; регуляція м'язових скорочень	[98]
Калій	220–280	Підтримка серцево-судинної системи; регуляція водно-електролітного балансу	
Магній	18–25	Підтримка нервової системи; участь у понад 300 ферментативних реакціях	
Фосфор	39–55	Формування кісток і зубів; участь у синтезі АТФ та нуклеїнових кислот	
Залізо	1,0–2,0	Синтез гемоглобіну; транспорт кисню; підтримка імунної системи	

закінчення таблиці 1.2

БАР	Вміст, мг/100 г	Функціональна дія	Джерело
Вуглеводи та інші речовини			
Цукри (глюкоза, фруктоза)	4,0–8,0	Джерело енергії; фруктоза засвоюється без інсуліну	[98]
Пектинові речовини	0,4–0,8	Нормалізація травлення; виведення важких металів та токсинів; пребіотична дія	
Клітковина	5,0–7,0	Нормалізація перистальтики; пребіотична дія; зниження рівня холестерину	

Плодам бузини чорної властиві фітонцидні властивості. Дослідження антибактеріального впливу на мікроорганізми показали, що ефірна олія бузини чорної у розбавленні 1:1500 стримує ріст золотистого стафілокока, а у розведенні 1:480 інактивує бактеріофаг кишкової палички. Фракції речовин фенольного походження у концентрації 20 мг/мл стримують ріст мікобактерій, дифтерійної палички, і деяких пліснявих грибів [69].

Зазначено, що у свіжому вигляді плоди бузини не мають приємного смаку, тому вони використовуються після переробки. Основною кулінарною перевагою плодів бузини є їх вміст унікального червоного антоціанового барвника, який добре розчиняється у воді. У деяких країнах Північної Європи з плодів бузини готують фруктові супи, які подають з печеними яблуками або кнедлями (останні можуть бути замінені підсмаженим хлібом). З плодів бузини чорної також готують киселі, желе, муси, варення, начинки для цукерок і пирогів, а також використовують у приправах для супів, оцеті та чайно-кавових сурогатах.

Свіжозірвані квіти мають тонізуючий аромат. З квітів отримують напівтверду ефірну олію, яка становить 0,027 – 0,032% від загальної маси. Раніше квіти використовували для поліпшення смаку невдалих мозельських вин, а тепер їх

ароматизують компоти, желе і джеми, готують варення та додають у листкове тісто для надання мигдального аромату готовим виробам. У гомеопатії плоди бузини використовуються при алергічному риніті, мігрені, тривожному тремтінні рук, порушеннях мінерального обміну (пародонтозі, остеохондрозі) і атеросклерозі. Високий вміст біофлавоноїдів надає їм радіопротекторні, антиоксидантні та протизапальні властивості. Ягоди можна використовувати при проявах дефіциту вітаміну Р, перебуванні в зоні з підвищеною радіоактивністю, гіпертонічних захворюваннях та інтоксикаціях [70], [71], [72], [73].

Калина звичайна *(Viburnum opulus L*) належить до родини Жимолостевих, ця рослина має значення як декоративна, харчова і медоносна.

Таблиця 1.3

Хімічний склад калини

БАР	**Вміст, мг/100 г**	**Функціональна дія**	**Джерело**
Вітаміни			
С	6–82	Антиоксидантна дія; підвищення імунітету; участь у синтезі колагену; вміст у 1,5 раза більший, ніж у лимоні	[74]
Е (токоферол)	2,0	Антиоксидантна дія; захист клітинних мембран від окиснення; підтримка репродуктивної функції	
А (β-каротин, провітамін А)	1,4–2,5	Підтримка зору, здоров'я шкіри та слизових оболонок; антиоксидантна та імуномодулювальна дія	
К1 (філохінон)	0,5–1,0	Регуляція згортання крові (активація факторів коагуляції); підтримка здоров'я кісткової тканини; міститься переважно в корі та листках	
Фенольні сполуки			
Флавоноїди загальні	300–1660	Антиоксидантна та протизапальна дія; зміцнення капілярів і судин; захист від окиснення ліпопротеїнів	[74]

Продовження таблиці 1.3

БАР	Вміст, мг/100 г	Функціональна дія	Джерело
Кверцетин та його глікозиди (3-глюкозид, 3-рамнозид, 3,7-диглюкозид)	30–80	Потужна антиоксидантна дія; гальмування запальних процесів; капілярозміцнювальний ефект	
Дубильні речовини (таніни)	200–500	Протизапальна, в'яжуча та антимікробна дія; антибактеріальні властивості проти 15 культур мікроорганізмів	[75]
Органічні кислоти			
Хлорогенова кислота	50–100	Антиоксидантна та гепатопротекторна дія; інгібування окиснення ліпопротеїнів низької щільності	[74]
Урсолова кислота	2–8	Протипухлинна, протизапальна та гіпоглікемічна дія; зміцнення м'язової тканини	
Оцтова кислота	0,1–0,3	Антимікробна дія; регуляція кислотно-лужного балансу	
Амінокислоти			
Амінокислоти (вільні форми): аспарагінова, глутамінова кислоти та ін.	100–300	Будівельний матеріал для синтезу білків; підтримка імунітету та нейромедіаторних функцій; участь у метаболізмі	[74]
Вуглеводи			
Пектинові речовини	0,40–0,65	Виведення важких металів та токсинів; нормалізація травлення; зниження рівня холестерину	[74]
Цукри	~8	Джерело енергії; субстрат для бродіння при виробництві харчових продуктів	
Мінеральні речовини			
Калій	179–320	Підтримка серцево-судинної системи; регуляція водно-електролітного балансу та артеріального тиску	[74]
Кальцій	40	Формування кісткової тканини та зубів; регуляція м'язових скорочень	

Закінчення таблиці 1.3

БАР	Вміст, мг/100 г	Функціональна дія	Джерело
Магній	17,5	Підтримка нервової системи; участь у понад 300 ферментативних реакціях; регуляція серцевого ритму	
Залізо	6,1	Синтез гемоглобіну; транспорт кисню; профілактика залізодефіцитної анемії	
Фітостерини			
β-ситостерин	5–15	Зниження рівня «поганого» холестерину (ЛПНЩ); протизапальна та антипухлинна дія	

Досліджено антимікробні властивості плодів калини на 15 культурах мікроорганізмів, і встановлено, що сік з калини зберігає свої антимікробні властивості протягом одного року зберігання. Настої цвіту і листя калини також проявляють антимікробну дію, хоча менш активну порівняно з антибіотиками левоміцетином і тетрацикліном [75].

Використання калини в харчовій промисловості має великий потенціал завдяки її багатому складу та корисним властивостям. Основні напрямки використання калини у харчовій промисловості представлено на рис.1.1

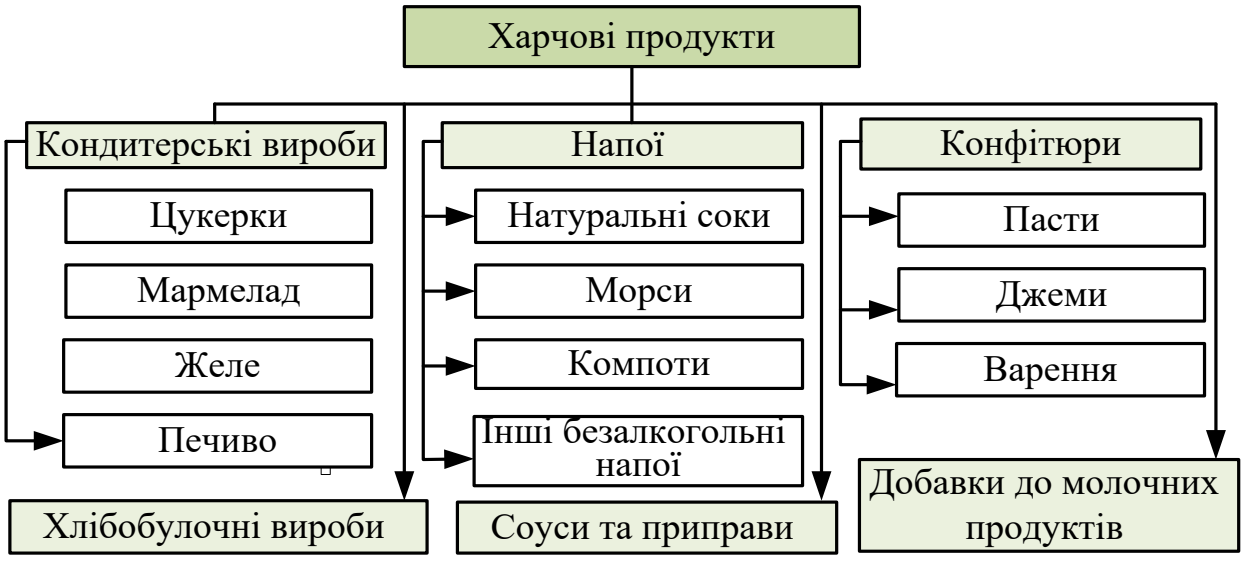


Рис. 1.1 – Напрями застосування калини у харчовій промисловості

Таким чином, використання калини в харчовій промисловості дозволяє створювати продукти з високою харчовою та біологічною цінністю, які не лише задовольняють споживчий попит, але й сприяють зміцненню здоров'я. Це особливо актуально для виробництва функціональних та дієтичних продуктів [76]. У харчовій промисловості використовують сік калини (вихід якого становить 76 – 78%), підварки, пюре протерте з цукром та інші продукти. Також висушені вижимки переробляють на борошно [77].

Обліпиха (*Hippophae rhamnoides*) – це цінна лікарська і харчова рослина, відома своїми унікальними властивостями. Ягоди обліпихи мають яскраво–оранжевий колір і містять велику кількість корисних речовин, серед яких вітаміни С, Е, К, Р, групи В, каротиноїди, органічні кислоти, мікро– та макроелементи (кальцій, магній, залізо, марганець тощо). Особливо багата облі/пиха на вітамін С, який зміцнює імунну систему [78].

Таблиця 1.4

Хімічний склад обліпихи

БАР	**Вміст, мг/100 г**	**Функціональна дія**	**Джерело**
Вітаміни			
С (аскорбінова кислота)	200–2500	Потужна антиоксидантна дія; зміцнення імунітету; участь у синтезі колагену; вміст у 2–10 разів вищий, ніж у ківі	[78]
Е (токофероли та токотрієноли)	1–10	Антиоксидантна дія; захист клітинних мембран від окиснення; підтримка репродуктивної функції	
А (β–каротин, провітамін А)	3–15	Підтримка зору, здоров'я шкіри та слизових оболонок; антиоксидантна та імуномодулювальна дія	
К (філохінон)	8–11	Регуляція згортання крові; підтримка здоров'я кісткової тканини; міститься в плодах та листках	

Продовження таблиці 1.4

БАР	Вміст, мг/100 г	Функціональна дія	Джерело
B1 (тіамін)	0,03–0,05	Участь у вуглеводному обміні; підтримка нервової системи та серцевої діяльності	[78]
B2 (рибофлавін)	0,05–0,08	Участь в енергетичному обміні; підтримка здоров'я шкіри та слизових оболонок	
B6 (піридоксин)	0,080–,12	Регуляція білкового обміну; підтримка імунної та нервової системи	
B9 (фолієва кислота)	7–10	Синтез ДНК та РНК; підтримка кровотворення; необхідний під час вагітності	
Каротиноїди			
β-каротин, лікопен, зеаксантин, зеаксантинові ефіри	3–15	Потужна антиоксидантна дія; підтримка зору; зміцнення імунної системи; надання характерного оранжевого забарвлення плодів	[81]
Фенольні сполуки та флавоноїди			
Флавоноли (ізорамнетин, кверцетин, кемферол) — домінуючий клас	200–800	Антиоксидантна та протизапальна дія; зміцнення серцево-судинної системи; інгібування окиснення ліпопротеїнів	[81]
Фенольні кислоти та флаван-3-оли (катехіни)	30–105	Антиоксидантна та антимікробна дія; захист клітин від окисного стресу	
Фітостероли (β-ситостерин)	340–520	Зниження рівня «поганого» холестерину (ЛПНЩ); протизапальна та антипухлинна дія	

Продовження таблиці 1.4

БАР	Вміст, мг/100 г	Функціональна дія	Джерело
Жирні кислоти (олія плодів та насіння)			
Омега-3 (α-ліноленова кислота)	1–3	Підтримка серцево–судинної системи; протизапальна дія; поліпшення функції мозку	[79]
Омега-6 (лінолева кислота)	0,5–1,1	Підтримка здоров'я шкіри; регуляція запальних процесів; підтримка імунної системи	
Омега-7 (пальмітолеїнова кислота) — унікальна для обліпихи	1–3	Регенерація слизових оболонок; загоєння ран; підтримка здоров'я шкіри та ШКТ	
Омега-9 (олеїнова кислота)	0,5–1,0	Зниження рівня холестерину; протизапальна та антиоксидантна дія	
Амінокислоти			
18 з 22 відомих амінокислот, у т.ч. всі незамінні	200–500	Будівельний матеріал для синтезу білків; підтримка імунітету; енергетичний обмін; синтез нейромедіаторів	[78]
Органічні кислоти			
Яблучна, лимонна, хінна, аскорбінова кислоти	210–520	Антимікробна та антиоксидантна дія; регуляція кислотно–лужного балансу; стимуляція травлення	[78]
Мінеральні речовини			
Калій	140–360	Підтримка серцево–судинної системи; регуляція водно–електролітного балансу та артеріального тиску	[78]
Кальцій	70–98	Формування кісткової тканини та зубів; регуляція м'язових скорочень та нервової провідності	
Магній	15–24	Підтримка нервової системи; участь у понад 300 ферментативних реакціях; регуляція серцевого ритму	

Закінчення таблиці 1.4

БАР	**Вміст, мг/100 г**	**Функціональна дія**	**Джерело**
Залізо	4–22,5	Синтез гемоглобіну; транспорт кисню в організмі; профілактика залізодефіцитної анемії	[78]
Фосфор	11–13,3	Формування кісткової тканини; участь в енергетичному обміні (АТФ)	
Марганець, цинк, мідь, йод, селен	0,5–1,5	Антиоксидантний захист; підтримка імунної системи; регуляція функції щитоподібної залози	

Крім того, ягоди містять незамінні жирні кислоти, завдяки чому обліпихова олія широко використовується в медицині для загоєння ран, боротьби з запаленнями та підтримки шкіри. Обліпиха також відома своїми антиоксидантними, імуномодулюючими та тонізуючими властивостями, що робить її цінною в харчовій промисловості для виготовлення соків, пюре, джемів та інших продуктів [79].

Плоди обліпихи є перспективною сировиною для харчової промисловості завдяки своєму багатому хімічному складу, що включає вітаміни, мікроелементи, антиоксиданти та жирні кислоти. Основні напрямки її використання в харчових технологіях базуються на цінності компонентів, що сприяють як підвищенню харчової цінності кінцевих продуктів, так і поліпшенню їх органолептичних властивостей [80].

Обліпиха характеризується високим вмістом біологічно активних речовин. Зокрема, в її плодах виявлені високі концентрації вітамінів С, Е, А, а також поліненасичених жирних кислот, флавоноїдів та каротиноїдів. Завдяки цьому обліпиха є потужним антиоксидантом, що може бути використано для розробки функціональних харчових продуктів [81].

Використовується в виробництві напоїв. Обліпиховий сік містить високі концентрації аскорбінової кислоти та антиоксидантів, що робить його придатним для виготовлення функціональних напоїв з підвищеною біологічною активністю. Крім того, завдяки яскравому кольору та унікальному смаковому профілю, обліпиха

використовується для створення концентратів і екстрактів, що слугують основою для напоїв.

Масло обліпихи є цінним продуктом з високим вмістом незамінних жирних кислот (Омега-3, -6, -9), токоферолів і каротиноїдів. У харчовій промисловості його використовують як добавку до функціональних продуктів або для виробництва маргаринів і масляних сумішей.

Завдяки природній кислинці та інтенсивному забарвленню, обліпиху застосовують у виробництві десертів, варення, пастил та інших продуктів. Її вітамінний склад дозволяє підвищити не лише органолептичні характеристики продуктів, але й їх харчову цінність.

Обліпиха використовується як джерело біоактивних речовин для створення функціональних харчових добавок. Екстракти з її плодів можуть бути додані до різних продуктів з метою збагачення їх антиоксидантами та вітамінами.

Використання обліпихи в харчовій промисловості є доцільним з огляду на її біологічну цінність і широкий спектр корисних властивостей. Завдяки багатому хімічному складу, обліпиха сприяє підвищенню харчової цінності продуктів, а також може бути використана в якості природного джерела антиоксидантів та вітамінів у функціональних продуктах [82], [83], [84], [85].

Вибір сировини для збагачення харчових продуктів визначається комплексом критеріїв: хімічним складом, вмістом і стабільністю цільових нутрієнтів, технологічною сумісністю з носієм, доступністю та економічною обґрунтованістю використання, а також безпечністю для споживача. До основних категорій сировини для збагачення відносять синтетичні та напівсинтетичні препарати вітамінів і мінералів, концентровані рослинні екстракти, сухі порошки із плодів і ягід, а також натуральні рідкі фракції рослинного походження [96].

Синтетичні вітамінні препарати (аскорбінова кислота, токоферол, ретинолу ацетат тощо) характеризуються стандартизованим вмістом активної речовини та відносно низькою вартістю. Проте їх застосування для збагачення цукру обмежене через низьку стабільність у кристалічному середовищі, схильність до фотодеградації та відсутність синергічного ефекту природного фітокомплексу [97]. Мінеральні солі

(сульфати і карбонати заліза, цинку, кальцію) здатні вбудовуватися у кристалічну решітку сахарози, що погіршує органолептичні показники і уповільнює розчинність продукту – суттєвий недолік для кристалічного цукру [98].

Рослинні порошки та сухі екстракти є більш технологічними у порівнянні з рідкими формами: вони не підвищують вологість цукру, мають стабільний хімічний склад та легко дозуються. Разом з тим, часточки порошку, рівномірно не розподілені на поверхні кристалів сахарози, можуть утворювати осад при розчиненні продукту, що є суттєвим органолептичним недоліком [99]. Крім того, вміст біологічно активних речовин у сухих порошках, отриманих методами розпилювальної або сублімаційної сушки, суттєво нижчий, ніж у нативній сировині, а частина термолабільних компонентів зазнає деградації в процесі отримання порошку [100].

Натуральні рідкі фракції рослинного походження – соки, осматовані розчини, концентрати – виявляються найбільш перспективною сировиною для збагачення кристалічного цукру. Вони містять комплекс природних біологічно активних сполук у нативній формі, добре розчинні у водному середовищі і рівномірно покривають поверхню кристалів при змішуванні. Осматовані розчини, отримані в результаті осмотичної дегідратації дикорослих ягід у концентрованому цукровому розчині, є особливо цінним видом такої сировини, оскільки поєднують високу концентрацію ягідних компонентів зі значним вмістом легкозасвоюваних цукрів [101].

Серед рослинної сировини, яка використовується або має потенціал для збагачення цукру, особливе місце займають дикорослі ягоди. Порівняно з культивованими видами, дикорослі плоди характеризуються значно вищим вмістом поліфенолів, антоціанів і вітаміну С, що обумовлено більш жорсткими умовами росту та відсутністю штучного добору на збільшення розміру плодів за рахунок зниження вмісту захисних метаболітів [102]. Зокрема, для горобини звичайної встановлено вміст флавоноїдів на рівні 200 – 800 мг/100 г, для бузини чорної – антоціанів від 200 до 1000 мг/100 г, для калини – хлорогенових кислот від 300 до 1660 мг/100 г, а для обліпихи – каротиноїдів до 40 мг/100 г [103].

Важливим критерієм при виборі сировини є також її регіональна доступність. Для умов Сумської та суміжних областей України найбільш доцільним є

використання видів, що природно поширені у лісових і заплавних екосистемах регіону і можуть заготовлятися промисловими обсягами без шкоди для природних популяцій. До таких видів відносяться горобина звичайна, бузина чорна, калина звичайна та обліпиха, яка широко культивується у природних смугах і на присадибних ділянках [104]. Таким чином, використання зазначених дикорослих ягід як сировини для збагачення цукру є обґрунтованим і з позицій хімічного складу, і з позицій регіональної доступності та економічної доцільності.

1.3.2 Технологічні аспекти збагачення харчових продуктів

Технологія збагачення харчових продуктів передбачає введення до складу готового продукту або сировини додаткових біологічно активних речовин – вітамінів, мінералів, поліфенолів, амінокислот та інших нутрієнтів – з метою підвищення їх харчової цінності без суттєвої зміни органолептичних і технологічних властивостей. Процес збагачення є складним міждисциплінарним завданням, що потребує врахування фізико–хімічних властивостей як носія (харчової матриці), так і внесеної добавки, а також механізмів їх взаємодії [86].

Серед основних технологічних підходів до збагачення харчових продуктів виділяють декілька методів. Перший – додавання нутрієнтів безпосередньо до продукту шляхом змішування кристалічного носія з рідким або сухим збагачувачем. Цей підхід є найпростішим у технологічному відношенні, проте вимагає ретельного контролю рівномірності розподілу добавки та стабільності активних сполук у процесі зберігання [87].

Другий метод – інкапсуляція біологічно активних компонентів, яка забезпечує їх захист від впливу зовнішнього середовища, підвищує стабільність і контролює вивільнення в організмі. Для інкапсуляції використовують матеріали на основі мальтодекстрину, пектину, желатину або модифікованого крохмалю [88]. Третій підхід – осмотична дегідратація, за якої активні речовини переходять з плодів у гіпертонічний розчин, а потім разом із ним – у носій (цукор). Цей метод особливо перспективний для збагачення цукру природними фітокомпонентами, оскільки

дозволяє уникнути штучного внесення ізольованих екстрактів і зберегти першочерговий комплекс біологічно активних сполук [89].

Важливим технологічним аспектом є стабільність внесених компонентів. Термолабільні сполуки – аскорбінова кислота, антоціани, деякі вітаміни групи В – легко руйнуються під дією температури, кисню, світла та зміни pH середовища. Тому при проектуванні технологій збагачення необхідно забезпечити мінімальний тепловий вплив, використання інертних умов зберігання та захисних пакувальних матеріалів [90]. Дослідження показали, що за умови дотримання оптимальних технологічних параметрів вміст аскорбінової кислоти у збагаченому продукті може зберігатися на рівні 70 – 85 % від початкового впродовж шести місяців зберігання [91].

Ключову роль відіграє і технологічна сумісність добавки з матрицею. Введення рідких фракцій (соків, екстрактів, осматованих розчинів) до кристалічного цукру неминуче підвищує його вологість, що вимагає обов’язкового наступного висушування. Параметри сушіння (температура, тривалість, вид сушарки) безпосередньо впливають як на збереження біологічно активних речовин, так і на кристалічну структуру та технологічні властивості готового продукту – сипкість, злежуваність, розчинність [92]. Конвективне сушіння при температурі 60 – 70 °C вважається оптимальним компромісом між швидкістю процесу і збереженням термолабільних нутрієнтів [93].

Окремої уваги заслуговує питання рівномірності розподілу збагачуючого компонента в масі цукру. Нерівномірне нанесення рідкої фракції на кристали призводить до утворення агломератів, зниження сипкості та погіршення товарного вигляду. Для усунення цього ефекту застосовують безперервне перемішування під час процесу нанесення, а також регулюють в’язкість осматованого розчину та його температуру [93]. Поряд із цим, матрична взаємодія між сахарозою і компонентами рослинного походження може впливати на кристалічну структуру цукру: антоціани, органічні кислоти та деякі амінокислоти здатні адсорбуватися на поверхні кристалів, змінюючи їх форму та колір, що є позитивним ефектом з точки зору ідентифікації збагаченого продукту [94].

Нормативне регулювання збагачення харчових продуктів в Україні здійснюється відповідно до Закону України “Про безпечність та якість харчових продуктів” і ряду технічних регламентів, гармонізованих із законодавством ЄС. Згідно з ними, вміст збагачуючих речовин у готовому продукті повинен забезпечувати не менше 10 % рекомендованої добової норми споживання на 100 г продукту та не перевищувати безпечний верхній рівень споживання [95]. Ці вимоги визначають допустимий діапазон внесення добавки і встановлюють необхідність підтвердження ефективності збагачення аналітичними методами.

1.4 Інноваційні підходи до створення збагачених видів цукру

Сучасна харчова наука та технологія пропонують низку інноваційних підходів до збагачення цукру, що ґрунтуються як на вдосконаленні традиційних методів, так і на застосуванні принципово нових технологічних рішень. Ці підходи об’єднує спільна мета: отримати продукт із підвищеною біологічною цінністю, стабільними органолептичними властивостями та тривалим терміном придатності, конкурентоспроможний у сегменті функціональних харчових продуктів [105].

Одним із перспективних напрямів є технологія осмотичної дегідратації плодів і ягід у концентрованому цукровому розчині. Метод ґрунтується на явищі осмосу: при зануренні плодів у гіпертонічний розчин сахарози вода та водорозчинні компоненти клітинного соку – цукри, органічні кислоти, антоціани, вітаміни, амінокислоти – переходять у розчин, тоді як сахароза частково дифундує у тканини плоду. Отриманий осматований розчин є природним концентратом активних компонентів і може бути використаний для безпосереднього збагачення кристалічного цукру-піску. Перевага цього методу полягає у тому, що він не потребує органічних розчинників, спеціального екстракційного обладнання і дозволяє одночасно переробляти велику кількість сировини [106].

Нанотехнологічні підходи до збагачення цукру набувають дедалі більшого поширення у наукових дослідженнях. Використання наноемульсій і нанокапсул для доставки жиророзчинних вітамінів (A, D, E, K) і каротиноїдів до кристалічної матриці цукру дозволяє подолати проблему технологічної несумісності між гідрофільним

носієм і ліпофільними активними компонентами. Розміри наночасточок у діапазоні 100 – 500 нм забезпечують рівномірне розподілення добавки і підвищену біодоступність активних компонентів в організмі [107]. Разом з тим, застосування нанотехнологій у харчовій промисловості регулюється окремою нормативною базою і потребує ретельного токсикологічного обґрунтування, що стримує їх широке промислове впровадження [108].

Мікроінкапсуляція активних речовин є ще одним інноваційним рішенням, яке активно досліджується для застосування у виробництві збагаченого цукру. Суть методу полягає у створенні захисної оболонки навколо мікрочасточок активного компонента з матеріалів на основі мальтодекстрину, модифікованого крохмалю, арабійської камеді або сироваткового білка. Інкапсулювання підвищує стабільність термолабільних і фоточутливих речовин під час зберігання, маскує небажані смак і запах, а також уможливлює пролонговане вивільнення нутрієнтів у шлунково-кишковому тракті [109]. Застосування даного підходу для захисту антоціанів при збагаченні цукру збільшує їх збереженість після 6 місяців зберігання на 25–40 % порівняно з незахищеною формою [110].

Перекристалізація – метод, за якого збагачуючі компоненти вводять у розчин сахарози на стадії її кристалізації, що забезпечує рівномірний розподіл нутрієнтів всередині кристалів і на їх поверхні. Цей підхід вивчався стосовно мінеральних речовин і вітаміну D, проте показав обмежену ефективність через порушення кристалічної структури продукту і погіршення його органолептичних властивостей [111]. Тому перекристалізація розглядається переважно як метод отримання цукру для спеціальних харчових і медичних цілей, а не для масового виробництва.

Технологія гранулювання цукру з подальшим покриттям гранул функціональними компонентами є перспективною альтернативою прямому змішуванню. Цей підхід дозволяє отримати продукт із однорідним складом і покращеними споживчими характеристиками. Гранульований цукор, збагачений рослинними екстрактами, демонструє кращі показники розчинності та менший ступінь агломерації порівняно зі збагаченим цукром-піском [112]. Проте технологія

гранулювання потребує значних капітальних вкладень у спеціалізоване обладнання, що обмежує її поширення у малотоннажному виробництві.

Серед інноваційних підходів окремої уваги заслуговує концепція “чистого маркування” (clean label), що передбачає використання виключно натуральних, легко впізнаваних споживачем інгредієнтів без штучних добавок, барвників і консервантів. У контексті збагаченого цукру це означає відмову від синтетичних вітамінних препаратів на користь натуральних рослинних фракцій, що повністю відповідає концепції технології, розробленої у даному дослідженні. Ринок продуктів з чистим маркуванням динамічно зростає: за оцінками аналітиків, до 2028 року його обсяг у сегменті підсолоджувачів і цукрів перевищить 2,5 млрд доларів США [113].

Таким чином, аналіз інноваційних підходів до збагачення цукру свідчить, що технологія осмотичної дегідратації з використанням дикорослих ягід поєднує переваги одразу кількох концепцій: натуральності сировини, збереження нативного комплексу фітокомпонентів, технологічної простоти і відповідності принципу clean label. Це робить її перспективним напрямом для розширення асортименту цукропродуктів із підвищеною біологічною цінністю в умовах існуючих цукрових виробництв.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено комплексний теоретичний аналіз науково-технічної літератури та нормативної бази щодо перспектив використання продуктів переробки дикорослої сировини як натуральних збагачувальних компонентів у технології цукру. За результатами проведених досліджень сформульовано такі висновки:

1. Обґрунтовано доцільність вибору цукру-піску як матриці для збагачення. Володіючи високою чистотою (99,75–99,9 % сахарози), цей продукт є рафінованим джерелом «порожніх» калорій і позбавлений біологічної цінності. Водночас статус продукту масового та щоденного споживання визначає його як перспективний та високоефективний носій для масового збагачення мікронутрієнтами. Встановлено, що сучасний внутрішній асортимент цукру в Україні є обмеженим і репрезентованим

переважно традиційними буряковими видами, що вказує на актуальність розширення лінійки продукції функціонального призначення.

2. Проаналізовано світовий та вітчизняний досвід диверсифікації ринку цукру. Попри те, що у світовій практиці налічується щонайменше 15 комерційних видів альтернативного цукру, на вітчизняному ринку зафіксовано лише поодинокі прецеденти промислового впровадження функціональних аналогів (зокрема, досвід випуску спеціалізованих видів цукру ТМ «Солодко» у 2003 р.), виробництво яких згодом було зупинене через низьку економічну доцільність і недосконаліть технологічних рішень.

3. Виявлено критичні дефекти існуючих способів збагачення цукру. Систематизація відомих технологій збагачення (із використанням мінеральних солей, сухих рослинних порошків та синтетичних вітамінів) дозволила виявити їхні ключові недоліки.

4. Оцінено ресурсний потенціал та біохімічний склад дикорослої плодово-ягідної сировини Сумського регіону. Встановлено, що значна лісистість області (17,9–18,6 %, площа лісового фонду становить 452,1 тис. га) забезпечує стабільну сировинну базу для вилучення біологічно активних речовин (БАР).

5. Визначено оптимальну агрегатну форму збагачувальних компонентів. Найбільш технологічно виправданою формою інтеграції фітокомпонентів у структуру кристалічного цукру визнано натуральні рідкі фракції – соки та відпрацьовані осмотичні розчини (осмоліти). Вони забезпечують збереження нативного поліфенольного та вітамінного комплексів сировини: експериментально доведено, що рівень збереження аскорбінової кислоти в таких середовищах становить 70–85 % від вихідного вмісту навіть після 6 місяців зберігання.

РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкт, предмет та матеріали дослідження

Об'єкт дослідження – технологія збагаченого цукру**.**

Предметом дослідження є: відпрацьовані осмотичні розчини, отримані після осмотичної дегідратації плодів калини звичайної (*Viburnum opulus*), горобини звичайної (*Sorbus aucuparia*), бузини чорної (*Sambucus nigra*) та обліпихи крушиноподібної (*Hippophae rhamnoides* L.); органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники збагаченого цукру, його біологічна та харчова цінність; показники якості натуральної льодяникової карамелі, виготовленої на основі збагаченого цукру.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що під час ОД плодів дикорослих рослин частина їхнього клітинного соку, збагаченого вітамінами, антиоксидантами та амінокислотами, переходить в осмотичний розчин. Використання цього розчину для модифікації складу бурякового цукру дозволить інтегрувати цінні мікронутрієнти у структуру сахарози, що підвищить біологічну цінність готового продукту та забезпечить можливість створення нових видів цукру із унікальними органолептичними та функціональними властивостями.

Сировиною для досліджень слугували плоди чотирьох видів дикорослих рослин, зібрані на території Сумської області, зібрані у жовтні 2022-2023 року:

- плоди бузини чорної (*Sambucus nigra L.*) – містять антоціани, флавоноїди, вітамін С, амінокислоти, органічні кислоти;
- плоди калини звичайної (*Viburnum opulus*) – є природним джерелом аскорбінової кислоти, α-токоферолу, каротиноїдів, хлорофілів та фенольних сполук;
- плоди обліпихи крушиноподібної (*Hippophae rhamnoides L.*) – містять незамінні жирні кислоти, амінокислоти, фітостерини, флавоноїди, вітаміни Е, В1, В2, К, каротиноїди;
- плоди горобини звичайної (*Sorbus aucuparia*) – містять вітаміни, каротиноїди, фенольні кислоти, мінерали (залізо, калій, магній), а також сорбінову кислоту.

Цукор-пісок білий кристалічний відповідав вимогам ДСТУ 4623:2023. Для проведення осмотичної дегідратації плодів дикорослих рослин на основі цукру готували 70 % розчин сахарози, попередньо нагрітий до 65±5 °С.

Підготовка сировини. Ретельно вимиті та висушені плоди заморожували за температури (–18±2°С). Заморожування виконувало подвійну функцію: нівелювання природної гіркоти ягід та забезпечення фазового перетворення клітинної вологи. Останній чинник під час подальшого розморожування інтенсифікував процеси масоперенесення в ході осмотичної дегідратації. Перед переробкою плоди дефростували за температури (20±2 °С). При цьому фіксували виділення 10–12 % клітинного соку, який доцільно вносити в апарат для осмотичної дегідратації через 30 хвилин після початку процесу.

Розморожені плоди змішували у співвідношенні 1:1 із 70 %-м розчином сахарози. Унаслідок змішування температура технологічного середовища знижувалася до робочої позначки – 50±5°С. Процес тривав протягом 1 години за умов безперервного перемішування в лабораторній установці для осмотичної дегідратації, сконструйованій д.т.н., професором Самілик М. М. [114]. Під час дегідратації масова частка сухих речовин в осмотичному розчині зменшувалася на (9±0,5%), а активна кислотність знижувалася до pH=4,57±0,3, що зумовлено дифузією органічних кислот із плодів та частковою інверсією сахарози.

Збагачений цукор висушували у вакуумній лабораторній сушарці за температури (65±5°С) до досягнення масової частки вологи 0,10–0,14 % або в конвективній лабораторній сушарці за (80–85°С) (для пресованого цукру). Частково зневоднені плоди дикорослих рослин після завершення осмотичної дегідратації спрямовували на виготовлення порошкових функціональних добавок [115].

Схема проведення теоретичних та експериментальних досліджень представлена на рис. 2.1

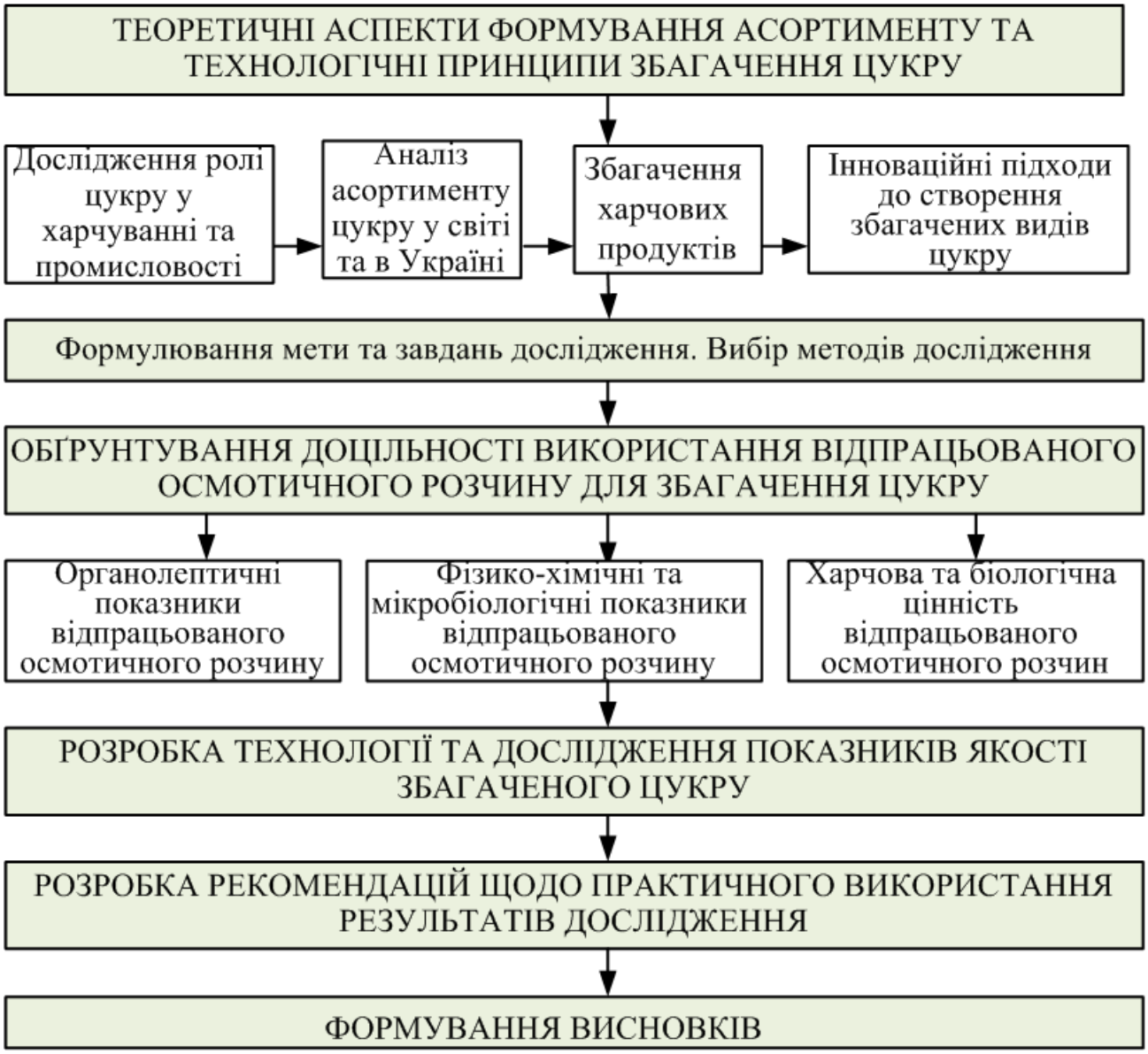


Рис. 2.1 – Схема проведення теоретичних та експериментальних досліджень

Всі дослідження проводилися на базі Сумського національного аграрного університету.

2.2 Методи дослідження відпрацьованих осмотичних розчинів

2.2.1 Органолептична оцінка відпрацьованих осмотичних розчинів

Органолептичну оцінку проводили за розробленими дескрипторами з використанням десятибальної шкали. Дескриптори органолептичної оцінки формували самостійно з урахуванням основних показників відпрацьованих осматичних розчинів. Дегустаційну комісію складали 10 непрофесійних дегустаторів різного віку та статі. Кожен учасник проходив сенсорний тест по оцінці

відпрацьованих осматичних розчинів. Тести проводилися у два різні дні з 9:00 до 10:30, щонайменше через 2 год після сніданку; учасників інструктували не палити та не вживати каву за 60 хв до тесту. Усі тести проводились у дегустаційній залі лабораторії технологій харчування Сумського НАУ.

2.2.2 Методика визначення фізико-хімічних та мікробіологічних показників відпрацьованих осмотичних розчинів

Масову частку сухих речовин у сиропах визначали рефрактометричним методом відповідно до ДСТУ 4623:2023. Метод ґрунтується на залежності показника заломлення розчину від концентрації розчинених речовин.

Аналіз виконували на рефрактометрі РПЛ–3 (Україна) з діапазоном вимірювань 0–85 % і ціною поділки 0,5 %. Перед початком роботи прилад калібрували за дистильованою водою при температурі 20 ± 0,5 °С (показник заломлення n = 1,3330).

Кольоровість визначали спектрофотометрично (КФК–3, λ = 420 нм) відповідно до ДСТУ 4866:2007: 100 г сиропу охолоджували до 20 °С фільтрували та вимірювали оптичну густину. Результати виражали в одиницях ICUMSA.

Рівень pH визначали потенціометрично (pH–метр pH–500, Німеччина): наважку 50 г сиропу фільтрували та вимірювали після калібрування за буферними розчинами.

Загальну кількість МАФАМ визначали згідно з ДСТУ EN ISO 4833–1:2014, дріжджі та плісеневі гриби – згідно з ДСТУ ISO 7954:2006, БГКП – згідно з ДСТУ ISO 4832:2015.

2.2.3 Методики визначення харчової та біологічної цінності відпрацьованих осмотичних розчинів

Масову частку сахарози визначали на поляриметрі СУ–4 (Україна) (похибка ≤ 0,05°) при температурі 20 ± 0,5 °С °С як середнє арифметичне 5 вимірювань. Невизначеність U = ±0,02 % (k = 2, P = 0,95).

Масову частку глюкози визначали йодометричним методом.

Масову частку фруктози визначали двотемпературним поляриметричним методом: розчин вимірювали при 30 °С та 20 °С. Невизначеність U = ±0,02 % (k = 2, P = 0,95).

Вміст вітаміну С визначали методом ВЕРХ на хроматографі Agilent Technologies 1200 (США). Вміст флавоноїдів визначали флуоресцентним методом з комплексоутворенням із катіонами ітрію (Y^{3+}) у перерахунку на кверцетин.

2.3 Методи дослідження збагаченого цукру

2.3.1. Органолептична оцінка

Органолептичну оцінку проводили за розробленими дескрипторами з використанням десятибальної шкали. Оскільки у ДСТУ 4623:2023 та міжнародному стандарті ICUMSA 150 відсутні характеристики для збагаченого цукру, дескриптори органолептичної оцінки формували самостійно з урахуванням показників пресованого цукру (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Дескриптори органолептичної оцінки збагаченого цукру

Показник	Характеристика	Шкала оцінювання (бали)
Зовнішній вигляд	Кристали рівномірного розміру з характерним природним забарвленням від жовтуватого до темно-бордового залежно від виду ягід; без стороніх включень	8–10 – рівномірне забарвлення, чисті кристали; 5–7 – незначна нерівномірність кольору; 1–4 – значні відхилення від норми
Запах	Приємний, помірний фруктово-ягідний аромат, характерний для використаної сировини; без сторонніх запахів	8–10 – виразний приємний аромат; 5–7 – слабко виражений аромат; 1–4 – відсутній або сторонній запах

Показник	Характеристика	Шкала оцінювання (бали)
Смак	Солодкий з легкою кислинкою та фруктово–ягідним відтінком, характерним для виду ягід; без сторонніх присмаків	8–10 – виражений ягідний відтінок, гармонійний смак; 5–7 – слабко виражений ягідний відтінок; 1–4 – відсутній ягідний відтінок або сторонній присмак
Чистота розчину	Розчин 10 % концентрації прозорий або слабко забарвлений відповідно до використаної сировини; без осаду і каламуті	8–10 – прозорий або слабко забарвлений розчин; 5–7 – незначна каламуть; 1–4 – помітний осад або значна каламуть

Дегустаційну комісію складали 10 непрофесійних дегустаторів різного віку та статі. Кожен учасник проходив два сенсорні тести: оцінювання кристалічного та пресованого збагаченого цукру і його розчинів. Тести проводилися у два різні дні з 9:00 до 10:30, щонайменше через 2 год після сніданку; учасників інструктували не палити та не вживати каву за 60 хв до тесту. Усі тести проводились у дегустаційній залі лабораторії технологій харчування Сумського НАУ.

2.3.2 Визначення фізико-хімічних показників якості збагаченого цукру

Масову частку сухих речовин у збагаченому цукрі визначали рефрактометричним методом відповідно до ДСТУ 4623:2023. Метод ґрунтується на залежності показника заломлення розчину від концентрації розчинених речовин.

Аналіз виконували на рефрактометрі РПЛ–3 (Україна) з діапазоном вимірювань 0–85 % і ціною поділки 0,5 %. Перед початком роботи прилад калібрували за дистильованою водою при температурі 20 ± 0,5 °С (показник заломлення n = 1,3330).

Кольоровість визначали спектрофотометрично (КФК-3, λ = 420 нм) відповідно до ДСТУ 4866:2007: 100 г цукру розчиняли у 100 см³ дистильованої води при 50 °С,

після охолодження до 20 °С фільтрували та вимірювали оптичну густину. Результати виражали в одиницях ICUMSA.

Рівень pH визначали потенціометрично (pH–метр pH–500, Німеччина): наважку 50 г цукру розводили водою 1:1, фільтрували та вимірювали після калібрування за буферними розчинами.

2.3.3 Визначення показників безпечності збагаченого цукру

Мікробіологічні показники визначали після 6–місячного зберігання зразків у паперових пакетах при кімнатній температурі без прямого сонячного освітлення відповідно до ДСТУ 4623:2023. Загальну кількість МАФАМ визначали згідно з ДСТУ EN ISO 4833–1:2014 (соєво–казеїновий агар, 30–35 °С, 5 діб), дріжджі та плісеневі гриби − згідно з ДСТУ ISO 7954:2006 (агар Сабуро, 20–25 °С, 7 діб), БГКП − згідно з ДСТУ ISO 4832:2015.

2.3.4 Визначення вмісту вітаміну С у збагаченому цукрі

Вміст аскорбінової кислоти у збагаченому цукрі визначали методом високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ). Аналіз виконували на рідинному хроматографі Agilent Technologies (країна виробник США) 1200 з UV–Vis детектором (λ = 240 та 300 нм), колонка C18 Zorbax SB–C18 (4,6 × 150 мм, 5 мкм), рухома фаза − метанол: 0,02 М KH_2PO_4 = 20:80 (v/v), швидкість потоку 1 мл/хв, температура колонки 40 °С, обєм ін'єкції 20 мкл.

Пробопідготовка: 1 г подрібненого цукру розчиняли у 20 мл рухомої фази, ультразвуково екстрагували 15 хв, тричі центрифугували (10 000 об/хв, 10 хв) та фільтрували через мембранний фільтр PTFE 0,45 мкм. Кількісний розрахунок проводили методом зовнішнього стандарту (аскорбінова кислота "чда", $r^2 \geq 0{,}999$). Невизначеність вимірювання U (k = 2, P = 0,95). Розрахунок за формулою:

$$C(AA) = \frac{S_п}{S_{станд}} \times C_{станд} \times \frac{V \times 100}{m_п} \qquad (2.2)$$

де C(AA) − вміст аскорбінової кислоти, мг/100 г; $S_п$ − площа піку проби, у.о.; $S_{станд}$ − площа піку стандарту, у.о.; $C_{станд}$ − концентрація стандартного розчину, мкг/мл; V − об'єм екстракту, мл; $m_п$ − маса наважки, г; 100 − коефіцієнт перерахунку на 100 г продукту.

2.3.5 Визначення вмісту флавоноїдів та антоціанів у збагаченому цукрі

Вміст флавоноїдів визначали флуоресцентним методом з комплексоутворенням на основі реакції флавоноїдів із катіонами ітрію (Y^{3+}) у присутності уротропіну. Як референтну речовину використовували кверцетин. Визначення проводили методом стандартних добавок, що дозволяє виключити матричний ефект цукрового розчину.

Пробопідготовка: 1 г цукру екстрагували 50 % етанолом (70 °C, 60 хв), фільтрували. У три пробірки вносили по 0,5 мл екстракту, до двох із них додавали 0,25 та 0,50 мл стандарту кверцетину ($1{,}5 \cdot 10^{-5}$ г/мл). У всі пробірки вносили по 0,5 мл розчину $Y(NO_3)_3$ ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) та 0,2 мл 0,4 % уротропіну, доводили до 3 мл 50 % етанолом та реєстрували інтенсивність люмінесценції. Невизначеність вимірювання U = ±0,1 % (k = 2, P = 0,95). Розрахунок за формулою:

$$C(F) = \frac{I_0}{I_1 - I_0} \times C_{доб} \times \frac{V_{доб}}{V_{проби}} \quad (2.3)$$

де C(F) − вміст флавоноїдів, % у перерахунку на кверцетин; I_0 та I_1 − інтенсивність люмінесценції без добавки та з добавкою стандарту; $C_{доб}$ − концентрація добавки, г/мл; $V_{доб}$ та $V_{проби}$ − об'єми добавки і проби, мл.

Вміст антоціанів визначали pH-диференціальним спектрофотометричним методом (AOAC Official Method 2005.02; Giusti, Wrolstad, 2001), що ґрунтується на оборотній структурній трансформації хромофора антоціанів залежно від pH середовища: за pH 1,0 пігмент перебуває у забарвленій оксонієвій формі з максимумом поглинання, тоді як за pH 4,5 переходить у безбарвну гемікетальну форму. Різниця оптичної густини між двома буферними системами прямо пропорційна концентрації антоціанів і дозволяє виключити вплив супутніх домішок і продуктів деградації пігменту.

2.3.6 Визначення масової частки вуглеводів у збагаченому цукрі

Визначення вмісту вуглеводів проводили трьома методами: сахарози − поляриметричним, глюкози − йодометричним, фруктози − поляриметричним двотемпературним згідно ДСТУ 4954:2008.

2.3.7 Визначення амінокислотного складу збагаченого цукру

Амінокислотний склад визначали методом іонообмінної хроматографії з нінгідриновою детекцією на аналізаторі BIOTRONIK (Nimbus, Німеччина). Розділення 18–20 амінокислот проводили на катіонообмінній смолі з цитратними буферами (pH 3,28–6,0), детекція при $\lambda = 570$ нм та 440 нм. Кількісний розрахунок − відносно суміші 17 стандартних амінокислот (Sigma-Aldrich AAS18). Підготовка зразків: кислотний гідроліз у 6 н HCl при 110 °C протягом 22 год у вакуумованих ампулах. Результати виражали у мг/100 г продукту.

Для детальнішої характеристики якісного складу транслокованого азотистого пулу було проведено розрахунок амінокислотного скору (АС) для зразків із повним спектром незамінних амінокислот (бузинового та горобинового) відповідно до рекомендацій та еталонної шкали Комітету ФАО/ВООЗ.

2.4 Методи дослідження карамелі, виготовленої на основі збагаченого цукру

Для дослідження можливості застосування збагаченого цукру як сировини при виробництві харчових продуктів кондитерської групи, а також вивчення впливу теплової обробки (карамелізації) на якісні показники, виготовляли карамель на основі осматованих розчинів.

Карамель виготовляли за розробленою схемою: підготовані дикорослі ягоди (миття, ополіскування, сортування) змішували з попередньо приготованим 70 % цукровим розчином; проводили осмотичну дегідратацію; отриманий осматований розчин у кількості 30 г змішували з 30 г цукру–піску та нагрівали поступово до 120 °C при постійному перемішуванні. Максимальну температуру 120 °C було обрано як оптимальну для збереження властивостей похідних дикорослих ягід на підставі

аналізу даних літератури. Після згущення карамель заливали у силіконові форми та охолоджували до повного застигання. Виготовляла чотири зразки: обліпихову, горобинову, калинову та бузинову карамель.

Висновки до розділу 2

1. Визначено методологічний апарат дослідження та науково обґрунтовано експериментальну гіпотезу дослідження.
2. Сформовано комплексну програму досліджень.
3. Обгрунтовано вибір сировини. Оптимізовано та детально регламентовано технологічні параметри її підготовки та процесу ОД.
4. Розроблено та адаптовано комплекс сучасних методів аналізу якості готового продукту.

РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ОСМОТИЧНОГО РОЗЧИНУ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ ЦУКРУ

3.1 Органолептичні показники відпрацьованих осмотичних розчинів

Органолептична оцінка ВОР є важливим етапом контролю якості, що дозволяє встановити ступінь переходу біологічно активних речовин із плодів у розчин та оцінити придатність отриманих розчинів для подальшого використання у виробництві збагаченого цукру. Зовнішній вигляд, колір і консистенція відпрацьованого осматичного розчину відображають характер масоперенесення під час осмотичної дегідратації та якісний склад пігментів і розчинних компонентів вихідної сировини.

Після проведення ОД чотирьох видів дикорослих плодів (*Hippophae rhamnoides L., Sorbus aucuparia, Viburnum opulus ma Sambucus nigra*) при температурі 50 ± 5 °С протягом 1 години отримали чотири зразки осмотичних розчинів з відмінними органолептичними характеристиками (рис. 3.1).

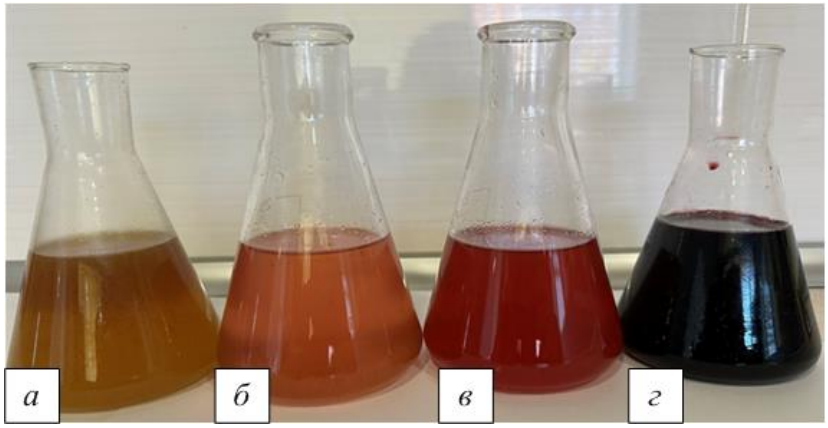


Рис. 3.1 – Відпрацьовані осматичні розчини: *а* – обліпиховий; *б* – горобиновий; *в* – калиновий*; г* – бузиновий.

ВОР, утворений після зневоднення плодів обліпихи, має насичений золотисто-жовтогарячий колір та високу прозорість. Інтенсивне жовтогаряче забарвлення обумовлено переходом у розчин каротиноїдів — β-каротину, зеаксантину та лікопену. Розчин характеризується приємним фруктовим ароматом з легкою кислинкою та

в’язкою сиропоподібною консистенцією, що свідчить про значний перехід розчинних речовин із плодів у цукровий розчин.

ВОР на основі горобини (*Sorbus aucuparia*) має рожево-лососевий колір та напівпрозору консистенцію. Характерне рожеве забарвлення зумовлене наявністю каротиноїдів та антоціанових пігментів у складі плодів горобини. Розчин має приємний м’який фруктовий аромат з незначною терпкістю, що пояснюється переходом у розчин дубильних речовин та органічних кислот, зокрема сорбінової та яблучної.

ВОР на основі калини (*Viburnum opulus*) вирізняється насиченим темно–червоним кольором і помітно нижчою прозорістю порівняно з попередніми зразками. Інтенсивне червоне забарвлення обумовлено високим вмістом антоціанів та фенольних сполук (300–1660 мг/100 г), які активно переходять у розчин під час осмотичної дегідратації. Органічні кислоти (хлорогенова, урсолова, ізовалер’янова) забезпечують характерну кислинку та специфічний аромат розчину. Розчин має більш виражений терпкий присмак порівняно з попередніми зразками, що є наслідком переходу дубильних речовин.

ВОР на основі бузини (*Sambucus nigra*) має темно–фіолетово–чорний колір і є найменш прозорим серед усіх чотирьох зразків. Надзвичайно інтенсивне темне забарвлення зумовлено рекордно високим вмістом антоціанів у плодах бузини – 200–1000 мг/100 г, переважно ціанідин–3–глюкозиду та ціанідин–3–самбубіозиду, які мають потужну барвну активність і добре розчиняються у воді. Розчин характеризується вираженим ягідним ароматом та насиченим кисло-солодким смаком.

Порівняльний аналіз кольору ВОР відображає загальну закономірність: інтенсивність та темний відтінок забарвлення зростають у ряду обліпиха → горобина → калина → бузина, що корелює зі збільшенням вмісту антоціанів у вихідній сировині. Колір відпрацьованого осмотичного розчину безпосередньо визначає колір готового збагаченого цукру, забезпечуючи йому природне забарвлення без застосування штучних барвників.

Усі чотири ВОР мають сиропоподібну консистенцію, масову частку сухих речовин 61 ± 0,5 % (зменшення на 9 ± 0,5 % порівняно з вихідним 70 % розчином сахарози) та кислотність pH 4,57 ± 0,3, що свідчить про інтенсивний перехід органічних кислот та інших біологічно активних речовин з плодів у цукровий розчин. Отримані ВОР є цінною сировиною для виробництва збагаченого цукру з природним забарвленням та підвищеною біологічною цінністю.

Органолептичну оцінку ВОР проводили за розробленими дескрипторами з використанням десятибальної шкали. Результати наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 –

Результати органолептичної оцінки відпрацьованих осмотичних розчинів

Зразок відпрацьованих осмотичних розчинів	Зовнішній вигляд	Запах і смак	Чистота розчину
обліпиховий	10	10	10
горобиновий	9	10	10
калиновий	10	9	10
бузиновий	10	10	9

Профілограми органолептичної оцінки ВОР представлено на рис.3.2–3.5.

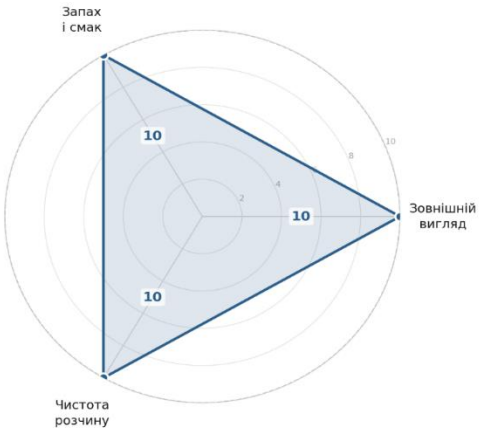


Рис. 3.2 – Профілограма органолептичної оцінки ВОР із *Hippophae rhamnoides L.*

Профілограма ВОР (рис.3.2) обліпихи характеризується ідеальним трикутним контуром – усі три показники (зовнішній вигляд, запах і смак, чистота розчину) отримали максимальну оцінку 10 балів (сума – 30/30). Рівномірність профілю ефекту

про збалансованість органолептичних властивостей: насичений золотисто–жовтогарячий колір, зумовлений каротиною (β–каротин, зеаксантин, лікопен), поєднуючись із приємним фруктовим ароматом та прозорою сироподібною консистенцією.

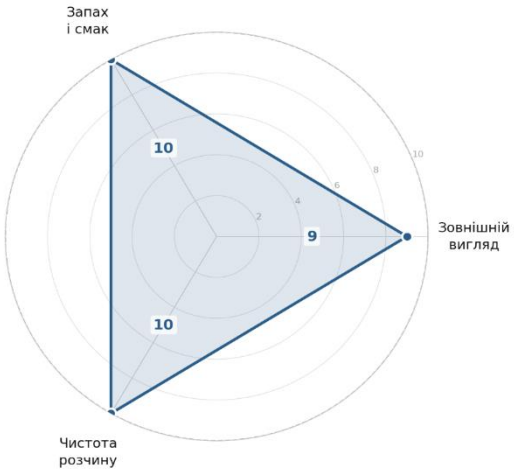


Рис. 3.3 – Профілограма органолептичної оцінки ВОР із *Sorbus aucuparia*

Профілограма ВОР горобини незначно відхиляється від максимального контуру за показником зовнішнього вигляду (9 балів; сума – 29/30).

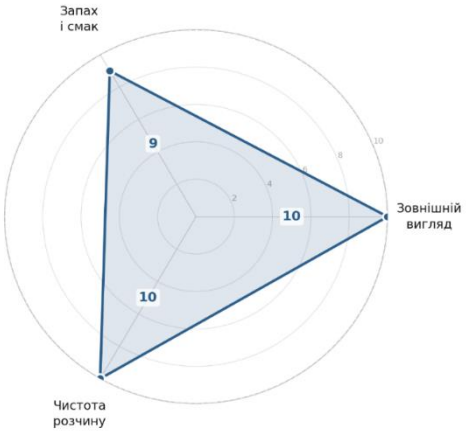


Рис. 3.4 – Профілограма органолептичної оцінки ВОР із *Viburnum opulus*

Зниження оцінки зумовленого підвищення нерівномірністю пігментації розчину за рахунок особливого складу каротиноїдів і фенольних кислот плодів *Sorbus aucuparia*, що надають розчин рожево-лососевого відтінку з однорідним розподілом барвника. Показники запаху і смаку та чистоти розчину забезпечують максимальний рівень.

Профілограма ВОР калини відхиляється від максимального контуру за показником запаху і смаку (9 балів; сума – 29/30). має приємний аромат, легку природну гіркуватість, характерну для Viburnum opulus та зумовлену переходом органічних кислот (хлорогенової, ізовалер'янової) і дубильних речовин у розчині, що знижує гармонійність смакового профілю. Зовнішній вигляд і чистоту розчину оцінені максимально.

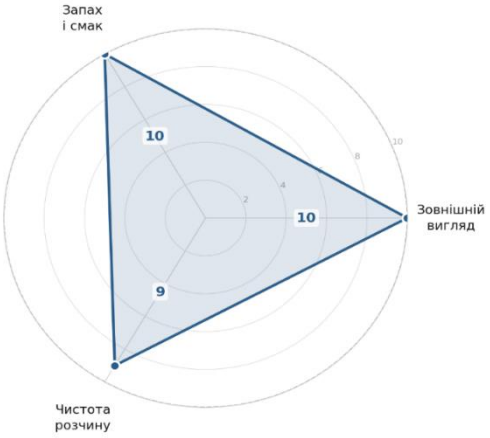


Рис. 3.5 – Профілограма органолептичної оцінки ВОР із *Sambucus nigra*

Профілограма ВОР бузини відхиляється від максимального контуру за показником чистоти розчину (9 балів; сума – 29/30). Знижена оцінка пояснюється надзвичайно інтенсивним темно-фіолетово-чорним забарвленням розчину за рахунок рекордно високого вмісту антоціанів (200–1000 мг/100 г) – переважно ціанідин-3-глюкозиду та ціанідин-3-самбубіозиду, – що робить розчин найменшим прозорим серед усіх чотирьох зразків. Зовнішній вигляд і запах та смак оцінені максимально.

Усі чотири зразки отримали високі оцінки за всіма показниками – від 9 до 10 балів, що свідчить про відмінні споживчі характеристики збагаченого цукру незалежно від виду використаної сировини.

Найвищу сумарну оцінку (30/30 балів) отримав зразок на основі обліпихи завдяки збалансованому смаковому профілю, рівномірному золотистому забарвленню та прозорому розчину. Зразки на основі горобини, калини та бузини набрали по 29/30 балів. Отримані результати підтверджують, що використання відпрацьованих осмотичних розчинів усіх чотирьох видів дикорослих плодів

дозволяє отримати збагачений цукор з високими органолептичними характеристиками, прийнятними для споживача.

3.2 Фізико-хімічні та мікробіологічні показники осмотичних розчинів

Фізико-хімічні показники ВОР є ключовими параметрами, що характеризують інтенсивність масоперенесення під час осмотичної дегідратації та визначають придатність розчинів для подальшого використання у виробництві збагаченого цукру. До основних фізико–хімічних показників відносять масову частку сухих речовин, активну кислотність (pH) та кольоровість.

Результати досліджень наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Фізико-хімічні показники відпрацьованих осмотичних розчинів

Зразок ВОР	Масова частка сухих речовин, %	pH	Кольоровість, од. ICUMSA
обліпиховий	72±0,7	3,28±0,04	480±15
бузиновий	70±0,7	4,23±0,04	790±15
горобиновий	68±0,7	3,53±0,04	600±15
калиновий	65±0,7	3,31±0,04	630±15

Аналіз отриманих даних свідчить про значні відмінності між зразками за всіма трьома показниками, що відображає різний хімічний склад вихідної сировини та інтенсивність масоперенесення під час осмотичної дегідратації.

За показником масової частки сухих речовин найвище значення зафіксовано в ВОР обліпихи – 72 %, що перевищує вихідну концентрацію розчину сахарози (70 %). Це зумовлено переходом значної кількості розчинних речовин – органічних кислот, цукрів та жирних кислот – з плодів у розчин. ВОР бузини містить 70 % сухих речовин, що відповідає вихідній концентрації. Розчини горобини та калини мають нижчі значення – 68 % та 65 % відповідно, що свідчить про інтенсивніший перехід вологи з плодів у розчин у цих зразках.

Показник pH усіх ВОР знаходиться в кислому діапазоні (3,28–4,23). Найнижче значення pH зафіксовано для відпрацьованого осмотичного розчину обліпихи – 3,28, що зумовлено високим вмістом органічних кислот у плодах *Hippophae rhamnoides L.* Близьке до нього значення має розчин калини – 3,31. Розчин горобини характеризується pH = 3,53. Найвище значення pH – 4,23 – має ВОР бузини, що відповідає меншому вмісту органічних кислот у плодах *Sambucus nigra*.

Кольоровість є важливим показником якості ВОР, що безпосередньо визначає колір готового збагаченого цукру. Кольоровість ВОР суттєво відрізняється між зразками і корелює з вмістом пігментних сполук у вихідній сировині (рис. 3.2). Найнижчу кольоровість має відпрацьований осмотичний розчин обліпихи – 480 од. ICUMSA. Золотисто-жовтий колір розчину зумовлений переважно каротиноїдами у плодах *Hippophae rhamnoides L*. Відпрацьований осмотичний розчин горобини має кольоровість 600 од. ICUMSA; рожево–лососеве забарвлення зумовлене антоціанами та каротиноїдами плодів *Sorbus aucuparia*. ВОР калини характеризується кольоровістю 630 од. ICUMSA внаслідок високого вмісту антоціанів та фенольних сполук (300–1660 мг/100 г) у плодах *Viburnum opulus*. Найвищу кольоровість має розчин бузини – 790 од. ICUMSA; темно–фіолетово–чорне забарвлення зумовлено рекордним вмістом антоціанів (200–1000 мг/100 г), переважно ціанідин–3–глюкозиду та ціанідин-3-самбубіозиду, у плодах *Sambucus nigra*.

Загальна закономірність: інтенсивність забарвлення зростає у ряду обліпиха (480 од. ICUMSA) → горобина (600 од. ICUMSA) → калина (630 од. ICUMSA) → бузина (790 од. ICUMSA), що корелює зі збільшенням вмісту антоціанів у вихідній сировині. Висока кольоровість ВОР забезпечує природне забарвлення готового збагаченого цукру без застосування штучних барвників.

Результати мікробіологічної оцінки розчинів представлено в таблиці 3.3.

За результатами мікробіологічних досліджень кількість МАФАМ не перевищує 1×10^3 КУО/г, вміст плісеневих грибів та дріжджів – не більше 1×10 КУО/г кожні, БГКП у жодному зі зразків не виявлено.

Таблиця 3.3

Мікробіологічні показники відпрацьованих осмотичних розчинів

Назва показника	Зразок відпрацьованого осмотичного розчину			
	обліпиховий	**бузиновий**	**горобиновий**	**калиновий**
Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАнМ), КУО/г	Не більше 1×10^3	Не більше 1×10^3	Не більше 1×10^3	Не більше 1×10^3
Кількість бактерій групи кишкових паличок (БГКП), бактерії групи кишкових паличок (БГКП), КУО/г	Відсутні			
Кількість дріжджів, КУО/г	не більше 1×10	не більше 1×10	не більше 1×10	не більше 1×10
Кількість плісеневих грибів, КУО/г	не більше 1×10	не більше 1×10	не більше 1×10	не більше 1×10

Відповідність мікробіологічним нормативам підтверджує, що кисле середовище відпрацьованих осмотичних розчинів (pH 3,28–4,23) у поєднанні з високою концентрацією сухих речовин (65–72 %) забезпечує надійний бактеріостатичний ефект та мікробіологічну безпечність готового продукту. Таким чином, фізико-хімічні та мікробіологічні показники відпрацьованих осмотичних розчинів свідчать про їх повну придатність для використання у виробництві збагаченого цукру. Висока кольоровість розчинів забезпечує природне забарвлення готового цукру, а низькі значення pH та висока концентрація сухих речовин гарантують мікробіологічну стабільність та збереження біологічно активних речовин упродовж усього терміну зберігання.

3.3 Харчова та біологічна цінність відпрацьованих осмотичних розчинів

На першому етапі експериментальних досліджень було проведено комплексний аналіз хімічного складу та енергетичної цінності ВОР, отриманих після дегідратації плодово-ягідної сировини Сумського регіону (обліпихи, горобини, калини та бузини). Результати досліджень наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Хімічний склад та енергетична цінність ВОР

Показник	Зразок ВОР			
	обліпиховий	**горобиновий**	**калиновий**	**бузиновий**
Вміст сахарози, г/100 г	64,8±0,02	62,1±0,02	59,3±0,02	64,2±0,02
Вміст глюкози, г/100 г	3,12±0,02	2,84±0,02	2,53±0,02	2,71±0,02
Вміст фруктози, г/100 г	2,98±0,02	2,61±0,02	2,31±0,02	2,48±0,02
Загальні вуглеводи, г/100 г	70,90±0,02	67,55±0,02	64,14±0,02	69,39±0,02
Вітамін С, мг/100 г	0,364±0,01	0,413±0,01	1,121±0,01	0,291±0,01
% добової норми вітаміну С	0,49±0,01	0,55±0,01	1,49±0,01	0,39±0,01
Флавоноїди, мг/100 г	18,0±0,01	14,1±0,01	24,2±0,01	32,8±0,01
Енергетична цінність, ккал/100 г	283,6±0,10	270,2±0,10	256,6±0,10	277,6± 0,10

Аналіз експериментальних даних свідчить, що досліджувані зразки ВОР є висококонцентрованими двокомпонентними системами, де загальний вміст вуглеводів коливається в межах від 64,14 ± 0,02 г/100 г (калиновий зразок) до 70,90 ± 0,02 г/100 г (обліпиховий зразок). Основним вуглеводним компонентом у всіх зразках є сахароза, концентрація якої становить 59,30–64,80 г/100 г. Одночасно фіксується наявність моноцукрів – глюкози (2,53–3,12 г/100 г) та фруктози (2,31–2,98 г/100 г). Поява інвертних цукрів у складі ВОР зумовлена дифузійним переходом власних моносахаридів із рослинної матриці плодів у гіпертонічний розчин під час масообміну, а також частковим гідролізом сахарози під дією нативних органічних

кислот екстрагованого соку. Високий сумарний вміст сухих речовин обумовлює відповідний рівень енергетичної цінності зразків, яка варіюється в діапазоні 256,56–283,60 ккал/100 г. Особливий науковий інтерес становить кількісний та якісний профіль БАР, що дифундували у ВОР у процесі дегідратації. Встановлено, що досліджувані сиропи збагатилися нативними фенольними сполуками. Найвищу концентрацію флавоноїдів ідентифіковано у бузиновому (32,80 ± 0,10 мг/100 г) та калиновому (24,20 ± 0,10 мг/100 г) зразках ВОР, що корелює з високим початковим вмістом поліфенолів у нативній сировині цих культур. В обліпиховому та горобиновому ВОР цей показник дещо нижчий і становить 18,00 ± 0,10 мг/100 г та 14,10 ± 0,10 мг/100 г відповідно.

Дослідження вмісту аскорбінової кислоти (вітаміну С) у відпрацьованих середовищах виявило чітку закономірність: максимальну концентрацію зафіксовано в калиновому зразку ВОР – 1,121 ± 0,010 мг/100 г. В інших зразках вміст вітаміну С є суттєво нижчим: від 0,291 ± 0,010 мг/100 г (бузиновий ВОР) до 0,413 ± 0,010 мг/100 г (горобиновий ВОР).

Проведені дослідження доводять, що ВОР дикорослих плодів є кондиційними джерелами БАР (вітаміну С, флавоноїдів, моноцукрів) і можуть слугувати перспективними фітодобавками у виробництві цукру підвищеної харчової цінності. При цьому максимальний вітамінний потенціал притаманний калиновому ВОР (1,121 мг/100 г), а поліфенольний – бузиновому. Зважаючи на відсутність білкових та жирових компонентів у складі екстрагованих речовин, калорійність ВОР формується винятково за рахунок моно– та дисахаридів. Здійснений за типового значення густини (1,28 г/мл при СР 61 ± 0,5 %) перерахунок на об'ємні одиниці засвідчив, що найвищу енергетичну цінність має обліпиховий розчин – 283,60 ккал/100 г (363,00 ккал/100 мл). Це корелює з найбільшою концентрацією загальних вуглеводів у його матриці (70,90 г/100 г), де питома вага сахарози становить 64,80 %, глюкози – 3,12 %, а фруктози — 2,98 %.

Вітамін С є незамінним нутрієнтом з добовою нормою споживання 75 мг для дорослих жінок та 90 мг для дорослих чоловіків (EU RDA, 2011/753/EU; ВООЗ, 2004).

Порівняльний аналіз вмісту аскорбінової кислоти у відпрацьованих розчинах з літературними даними щодо свіжих плодів свідчить про закономірне зниження концентрації внаслідок розбавлення у великому об'ємі цукрового сиропу та часткової термодеструкції при температурі 50 ± 5 °C: плоди калини містять 6–82 мг/100 г вітаміну С, горобини – 50–100 мг/100 г, обліпихи – 120–900 мг/100 г, бузини – 36 мг/100 г. Навіть найбагатший за вмістом вітаміну С калиновий розчин (1,121 мг/100 мл) забезпечує лише 1,49 % добової норми, що підкреслює доцільність використання розчинів як технологічного інгредієнта, а не самостійного джерела вітаміну С.

Флавоноїди є термостабільнішими сполуками порівняно з вітаміном С і краще переходять у розчин під час осмотичної дегідратації. Орієнтовна добова потреба згідно літературних даних становить 300–500 мг/добу. Бузиновий розчин містить 32,8 мг флавоноїдів/100 г – 32,8 мг або більше 10 % добової норми на 100 г цукру.

Для порівняння: вміст антоціанів у плодах бузини становить 200–1000 мг/100 г, у плодах калини – 300–1660 мг/100 г фенольних сполук. Антоціани, які домінують у складі флавоноїдів бузинового та калинового розчинів, проявляють потужну антиоксидантну, протизапальну та кардіопротекторну активність, що підвищує функціональну цінність збагаченого цукру на їх основі.

Вміст моноцукрів (глюкози та фруктози) у відпрацьованих розчинах (2,31–3,12 % та 2,31–2,98 % відповідно) відповідає природному вмісту цих вуглеводів у плодах дикорослих рослин і є характерним для продуктів осмотичної дегідратації. ВООЗ рекомендує обмежувати споживання вільних цукрів до 10 % добової калорійності раціону (≈5 % для додаткового захисту здоров'я), що становить 25–50 г/добу (WHO, 2015). Вміст моноцукрів у збагаченому цукрі, виробленому з використанням осмотованих розчинів, не перевищуватиме гігієнічних норм за умови звичайного споживання цукру (до 5–10 г/порцію) і підвищує засвоюваність продукту.

Звичайний цукор-рафінад є нутрієнтно-порожнім продуктом: він містить виключно сахарозу (99,7–99,9 %) і повністю позбавлений вітамінів, мінералів, антиоксидантів та інших біологічно активних речовин. Використання ВОР дикорослих плодів як компонента у виробництві збагаченого цукру забезпечує три ключові ефекти підвищення його біологічної цінності.

Перший ефект – природне антиоксидантне збагачення. Флавоноїди, антоціани та вітамін С, що перейшли з плодів у розчин, зберігаються на поверхні кристалів збагаченого цукру і знижують його окисно–відновний потенціал. Антиоксидантна активність збагаченого цукру на основі бузинового розчину (32,8 мг флавоноїдів/100 г) буде найвищою серед усіх чотирьох варіантів, що підтверджується даними про антирадикальну активність антоціанів бузини (DPPH IC50 = 0,05–0,15 мг/мл)

Другий ефект – натуральне забарвлення за принципом *Clean Label*. Антоціани та каротиноїди плодів надають кристалам цукру стійке природне забарвлення від золотистого (обліпиха, β-каротин 3–15 мг/100 г) до темно–фіолетового (бузина, антоціани 200–1000 мг/100 г) без застосування синтетичних барвників. Це відповідає зростаючому попиту споживачів на продукти без штучних добавок та вимогам Регламенту ЄС № 1169/2011 щодо маркування харчових продуктів.

Третій ефект – покращення смакового та функціонального профілю. Органічні кислоти (хлорогенова, сорбінова, яблучна, ізовалер'янова), моноцукри та ароматичні сполуки плодів формують унікальний смаковий профіль збагаченого цукру, підвищуючи його споживчу привабливість. Кислотність збагаченого цукру (pH 4,57 ± 0,3) покращує його технологічні властивості при використанні у кондитерській промисловості завдяки регулюванню кристалізації сахарози та підвищенню стабільності продукту.

Порівняно з існуючими аналогами – цукром, збагаченим синтетичними вітамінами, мінеральними премісами або рослинними екстрактами – збагачений цукор на основі відпрацьованих осмотичних розчинів дикорослих плодів має принципові переваги: природне походження біологічно активних речовин без хімічного синтезу або концентрування, синергетичний антиоксидантний ефект комплексу поліфенолів, антоціанів і вітаміну С, мінімізація технологічних втрат цінної сировини відповідно до принципів ресурсозберішаючого виробництва та циркулярної економіки, а також відповідність концепції функціональних харчових продуктів.

Таким чином, введення ВОР у виробництво збагаченого цукру є технологічно та нутрієнтно обґрунтованим рішенням, що забезпечує отримання продукту з

підвищеною біологічною цінністю, природним забарвленням та поліпшеними органолептичними характеристиками.

Висновки до розділу 3

1. Проведено дескрипторно-профільний аналіз сенсорних характеристик ВОР. За результатами органолептичного оцінювання за 10–бальною шкалою констатовано високий рівень якісних показників усіх чотирьох видів ВОР. Обліпиховий зразок отримав максимальну комплексну оцінку – 30,0 балів із 30,0 можливих (за дескрипторами: зовнішній вигляд, смако-ароматичний профіль, прозорість розчину). Горобиновий, калиновий та бузиновий зразки оцінено у 29,0 балів через незначне варіювання поодиноких органолептичних ознак. Встановлено, що колористичні характеристики розчинів природно змінюються від золотисто–жовтогарячого (обліпиховий ВОР) і рожево-лососевого (горобиновий ВОР) до темно–червоного (калиновий ВОР) та інтенсивного темно-фіолетового (бузиновий ВОР), що детермінується накопиченням антоціанових фракцій вихідної сировини.
2. Ідентифіковано ключові фізико-хімічні властивості ВОР**.** Дослідженнями встановлено, що масова частка розчинних сухих речовин (СР) у розчинах становить 65,0–72,0 % (екстремальні значення: 72,0 % – для обліпихового та 65,0 % – для калинового зразків). Активна кислотність середовищ варіюється в межах pH 3,28–4,23. Показники колірності за шкалою ICUMSA коливаються від 480 до 790 од., демонструючи чітку тенденцію до зростання в ряду: обліпиховий – 480 од., горобиновий – 600 од., калиновий – 630 од., бузиновий – 790 од. Це безпосередньо корелює зі збільшенням концентрації антоціанів від слідових кількостей в обліписі до 200,0–1000,0 мг/100 г у бузині чорній.
3. Підтверджено мікробіологічну стабільність та безпечність ВОР. За результатами мікробіологічних випробувань встановлено повну відповідність усіх зразків діючим нормативним вимогам: загальне мікробне число (КМАФАнМ) не перевищує $1 \cdot 10^3$ КУО/г, вміст дріжджів і плісеневих грибів перебуває в межах

норми (менше $1 \cdot 10^1$ КУО/г), а бактерії групи кишкових паличок (БГКП) відсутні. Висока стійкість до мікробіологічного псування обумовлена синергетичним ефектом низьких значень активної кислотності (pH 3,28–4,23) та підвищеного осмотичного тиску за масової частки сухих речовин 65,0–72,0 %.

4. Досліджено якісний та кількісний склад вуглеводного комплексу. Встановлено, що концентрація сахарози у ВОР становить 59,30–64,80 %. Мінімальний вміст дисахариду зафіксовано в калиновому зразку, що пояснюється інтенсифікацією процесів кислотного гідролізу за pH 3,31. Частка моносахаридів становить: глюкози – 2,53–3,12 %, фруктози – 2,31–2,98 % за загального вмісту вуглеводів 64,14–70,90 %. Розрахункова енергетична цінність зразків перебуває в межах 256,60–283,60 ккал/100 г; її зниження відносно модельного 70 % розчину чистої сахарози (280,0 ккал/100 г) викликане ефектом дифузійного розведення матриці розчину вологою клітинного соку плодів.
5. Оцінено рівень збереження та транслокації аскорбінової кислоти. Вміст вітаміну С у ВОР зафіксовано в діапазоні 0,291–1,121 мг/100 г із досягненням максимуму в калиновому зразку (1,121 мг/100 г, що забезпечує 1,49 % від добової потреби) та мінімуму – в бузиновому (0,291 мг/100 г, або 0,39 % добової норми). Зниження концентрації порівняно з нативною сировиною обумовлене перерозподілом маси під час дифузії та частковою термодеструкцією вітаміну під дією робочої температури осмосу (50±5 °С).
6. Визначено потенціал флавоноїдного комплексу як фактора функціональності. Масова концентрація флавоноїдів у ВОР становить 14,10–32,80 мг/100 г із максимальним значенням у бузиновому ВОР (32,80 мг/100 г). Це зумовлено високим початковим вмістом антоціанів та флавонолів (рутину, кверцетину, кемпферолу) у плодах *Sambucus nigra*. Отримані концентрації поліфенолів здатні забезпечити понад 10,0 % від орієнтовної добової потреби людини на 100 г продукту, що свідчить про вищу біологічну та функціональну значущість флавоноїдного комплексу ВОР порівняно з вітамінним.

7. Науково та технологічно обґрунтовано тривекторну концепцію збагачення цукру на основі ВОР. Доведено доцільність інтеграції ВОР у виробництво цукру завдяки поєднанню таких ефектів:

– антиоксидантного (акумуляція нативних флавоноїдів та антоціанів із високою антирадикальною активністю;

– колористичного (формування природного забарвлення готового продукту відповідно до екологічного принципу Clean Label;

– сенсорного (гармонізація смакового профілю сахарози шляхом внесення нативних моноцукрів та комплексу оксикарбонових кислот).

Зазначене підтверджує нутрієнтну та технологічну перспективність використання досліджених ВОР як збагачувальних компонентів.

РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗБАГАЧЕНОГО ЦУКРУ

4.1 Технологічні аспекти використання відпрацьованих осмотичних розчинів для виробництва збагаченого цукру

На підставі проведених досліджень розроблено технологічну схему (рис.4.1), яка передбачає виробництво збагаченого цукру–піску та збагаченого цукру пресованого.

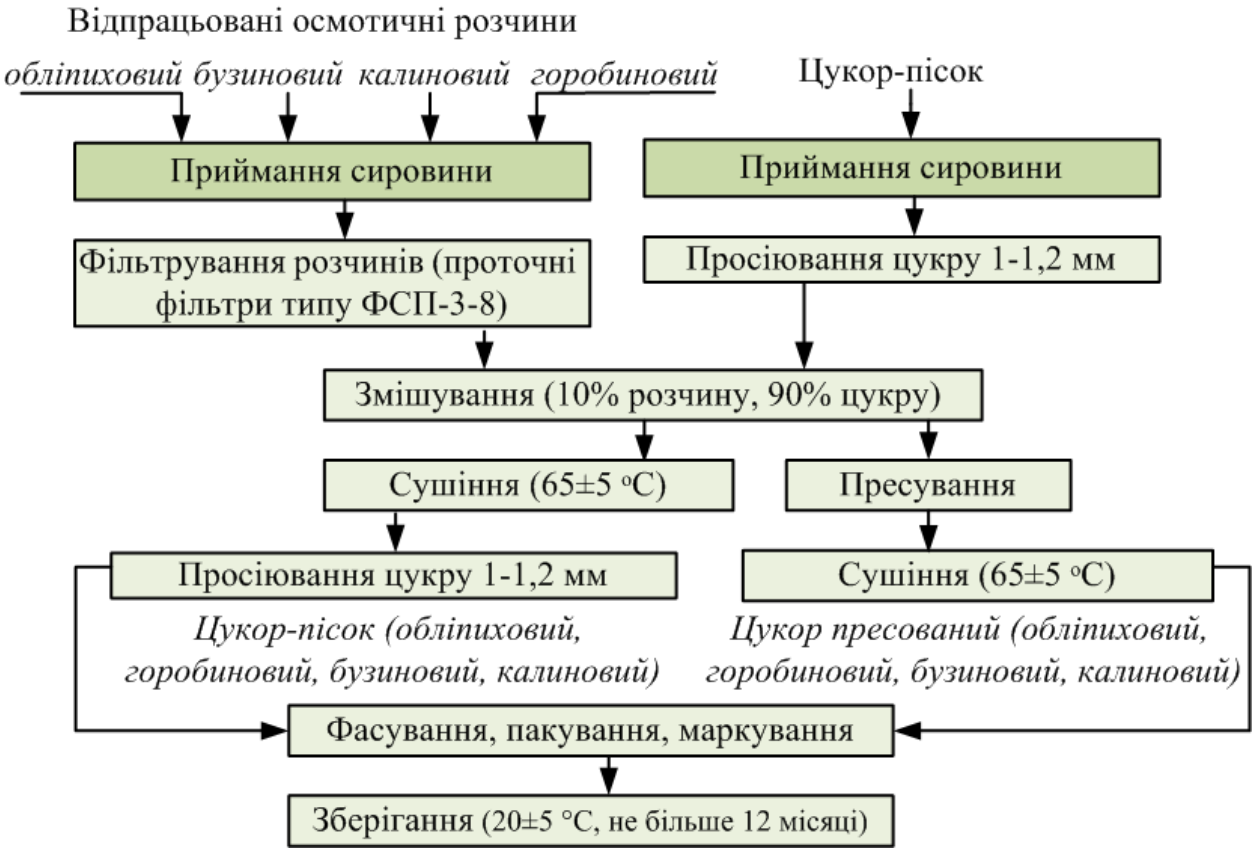


Рис. 4.1 – Технологічна схема виробництва збагаченого цукру

Виробництво збагаченого цукру доцільно проводити на підприємствах, які спеціалізуються по переробці рослинної сировини на харчові добавки, сухофрукти або цукати. При виробництві натуральних порошкових харчових добавок [114], [115], [116] утворюється вторинний продукт – осмотичний розчин. Традиційно він після регенерації може повторно використовуватися для осмотичної дегідратації плодово–ягідної сировини, а потім утилізується. Такий спосіб має рад технологічних недоліків, зокрема: регенерації потребує значних енергетичних витрат, додаткових

витрат сировини (цукру), сприяє накопиченню відходів виробництва, а найголовніше – призводить до втрати біологічно–активних речовин із утилізованим розчином. Запропонована технологія є ресурсозберігаючою альтернативою.

Розчини утворені в результаті ОД пропонується використовувати для збагачення цукру. Після одного циклу використання осмотичні розчини необхідно профільтрувати для видалення механічних домішок (тканинні частки рослинної сировини). Для цього доцільно використовувати традиційні сиропні фільтри, які використовуються у цукровому виробництві для фільтрування сиропу після випарної установки.

Основною сировиною для виробництва збагаченого цукру є цукор–пісок II або III категорії, який при прийманні необхідно просіювати на вихрових просіювачах (1–1,2 мм) для запобігання потрапляння грудочок цукру у суміш збагаченого цукру.

Для виробництва збагаченого пресованого цукру рекомендується використовувати лінію, до складу якої входять: завантажувач цукру, змішувач цукру, прес для формування кубиків, тунельна сушарка, охолоджувальна камера, фасувально–пакувальна машина.

За класичною технологією перед пресуванням передбачено зволоження цукру водою у кількості 2,5–3,0 % до загальної маси сировини. Запропонована інноваційна технологічна схема базується на використанні відпрацьованого осматичного розчину замість води у кількості 10 %. Після фільтрування осмотичний розчин за допомогою насосного обладнання дозовано транспортується у змішувач для рівномірного розподілу в об'ємі просіяного цукру-піску. Отримана збагачена цукрова маса (кашка) надходить до преса, де здійснюється формування кубиків масою 4–5 г. Сформовані кубики цукру спрямовуються у тунельну сушарку, де піддаються термічному обробленню за температури 65±5 ºС. Після завершення процесу сушіння кубики цукру охолоджуються в охолоджувальній камері до досягнення температури 20±5 ºС, після чого здійснюється їх фасування у картонну тару. Функціонал фасувально-пакувального автомата забезпечує дозоване завантаження цукру в коробки та герметизацію їхніх кришок у автоматичному режимі. Усі технологічні процеси на виробничій лінії є повністю автоматизованими.

Пресований цукор у кубиках доцільно використовувати в домашніх умовах, оскільки він має кілька унікальних практичних переваг для побуту. Кожен кубик має стабільну вагу (зазвичай 4–5 грамів). Це дозволяє легко контролювати споживання калорій без використання ложок чи ваг. Кубики не розсипаються повз чашку. Вони ідеально підходять для красивого сервірування столу під час сімейного чаювання або прийому гостей. Крім того, пресований цукор менше схильний до злежування від вологи, ніж звичайний цукор-пісок.

Для виробництва збагаченого цукру–піску доцільно використовувати змішувач для сипких харчових продуктів. Цукор–пісок у змішувачі змішується із відпрацьованим розчином (10% до маси цукру). Після утворення однорідної кашки цукор направляється на сушіння. Для сушіння цукру доцільно використовувати сушарки із псевдозрідженим шаром. Висушений цукор просіюється і направляється на пакування. В разі використання збагаченого цукру для виробництва харчових продуктів (наприклад карамелі), доцільно цукор фасувати у мішки по 50 кг. Або пакувати у стіки. Цукор у стіках – це гігієнічна та стандартизована порція фасованого цукру. Такий цукор використовується для швидкого та зручного підсолоджування гарячих напоїв (чаю, кави) в умовах високої прохідності, що повністю виключає необхідність використання багаторазових цукорниць. Таке фасування частіше всього використовується в HoReCa.

4.2 Органолептичні показники якості збагаченого цукру

Органолептична оцінка є одним із визначальних критеріїв якості харчових продуктів, оскільки вона безпосередньо відображає споживчі властивості продукту та формує ринкову привабливість виробу. Для збагаченого цукру, отриманого методом осмотичної дегідратації плодів дикорослих рослин, органолептичні показники набувають особливого значення, оскільки внесені рослинні компоненти суттєво змінюють колір, запах і смак готового продукту порівняно зі стандартним білим цукром–піском [121].

У роботі проведено комплексну органолептичну оцінку чотирьох видів збагаченого цукру (рис.4.2), отриманих із застосуванням відпрацьованих осмотичних

розчинів плодів: калини звичайної (*Viburnum opulus L.*), обліпихи крушиновидної (*Hippophae rhamnoides L.*), бузини чорної (*Sambucus nigra L.*) та горобини звичайної (*Sorbus aucuparia L.*) – дикорослих рослин регіонального значення Сумської та суміжних областей.

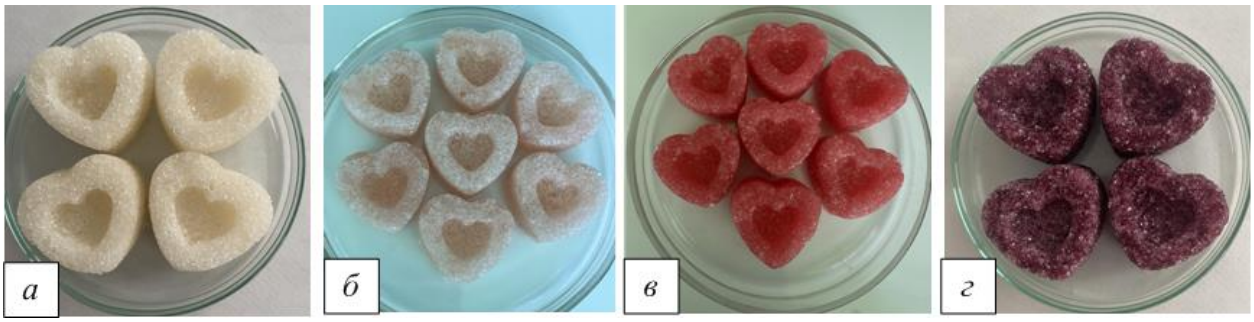


Рис. 3.1 – Збагачений цукор: *а* – обліпиховий; *б* – горобиновий; *в* – калиновий; *г* – бузиновий

Оскільки у державному стандарті на цукор (ДСТУ 4623:2023) та міжнародному стандарті (ICUMSA 150) відсутні нормативні характеристики, які б описували збагачений цукор із рослинними похідними, систему дескрипторів органолептичної оцінки розроблено авторами самостійно з урахуванням показників пресованого та кристалічного цукру.

Результати органолептичної оцінки збагаченого цукру за десятибальною шкалою наведено в таблиця 4.2.

Таблиця 4.2

Результати органолептичної оцінки збагаченого цукру

Зразок збагаченого цукру	**Зовнішній вигляд**	**Запах і смак**	**Чистота розчину**
обліпиховий	10	9	10
калиновий	10	10	10
бузиновий	10	10	9
горобиновий	9	10	10

Усі чотири зразки збагаченого цукру отримали високі оцінки за органолептичними показниками (рис. 4.2.).

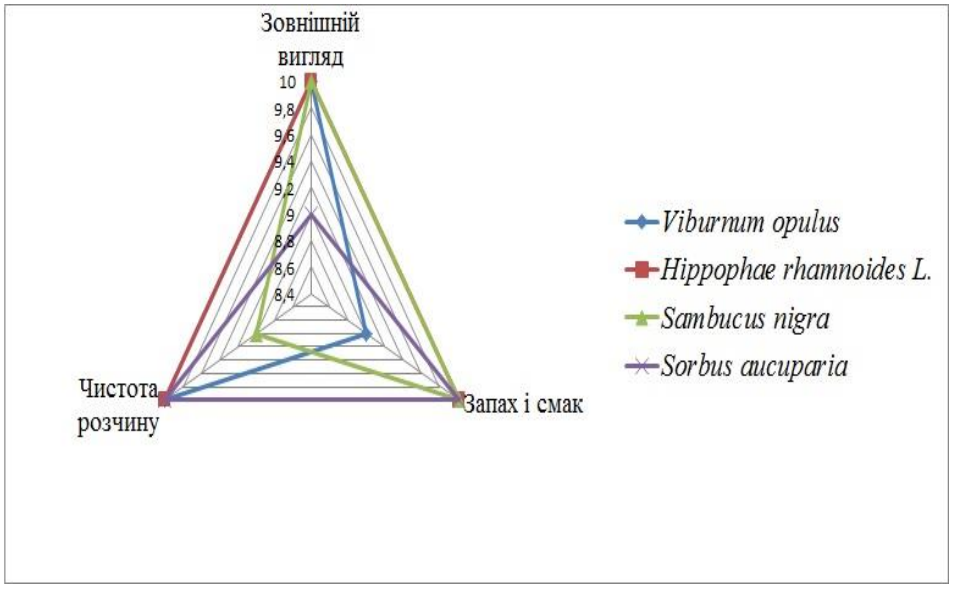


Рис. 4.3 – Результати органолептичної оцінки збагачених цукрів

За сукупністю всіх дескрипторів найвищу оцінку отримав обліпиховий збагачений цукор – 10/10/10 балів за зовнішнім виглядом, запахом і смаком та чистотою розчину відповідно. Калиновий збагачений цукор мав виражений характерний запах та смак ягоди. Зразок бузинового збагаченого цукру дещо нижчою чистотою розчину (9 балів) через більшу концентрацію барвних речовин. У зразку горобинового збагаченого цукру відчувалась приємна гірчинка, зумовлена присутністю сорбінової кислоти в осматованому розчині.

4.3 Фізико-хімічні показники якості збагаченого цукру

Фізико-хімічні показники збагаченого цукру (таб.4.3) визначають його якісну відмінність від стандартного цукру–піску. До основних показників належать: pH, кольоровість, масова частка сухих речовин та вуглеводний склад. Ці характеристики безпосередньо відображають результати осмотичної дегідратації дикорослих плодів та перехід біологічно активних речовин (БАР) у цукровий кристалічний продукт.

Таблиця 4.3

Фізико–хімічні показники збагаченого цукру та цукру–піску

Назва продукту	**Масова частка сахарози, %**	**Масова частка вологи, % не більше**	**Масова частка редукувальних речовин, %**	**Масова частка золи, %**	**Кольоровість, од. ICUMSA**
Цукор–пісок згідно ДСТУ 4623:2023	99,61–99,70	0,10–0,14	0,04–0,05	не більше 0,04	60–104
обліпиховий збагачений цукор	94,76±0,02	0,25±0,02	0,13±0,01	0,09±0,01	392±14
калиновий збагачений цукор	98,36±0,02		0,09±0,01	0,07±0,01	537±17
бузиновий збагачений цукор	97,67±0,02		0,47±0,01	0,08±0,01	784±22
горобиновий збагачений цукор	96,64±0,02		0,44±0,01	0,08±0,01	465±16

Важливим детермінуючим фізико–хімічним параметром збагаченого продукту є рівень його активної кислотності. Зафіксоване зниження pH розроблених зразків порівняно з нейтральним контрольним зразком (pH 7,00) обумовлене дифузійним масопереносом нативних оксикарбонових кислот сировини (зокрема малієвої, цитринової, аскорбінової, сорбінової та хлорогенової) з клітинного матриксу плодів у масообмінне середовище в процесі осмотичного зневоднення. Екстремальні значення активної кислотності встановлено для обліпихового (мінімум на рівні 3,30) та бузинового (максимум серед досліджуваних зразків – 4,60) видів цукру. Зміна

величини pH безпосередньо корелює з глибиною проходження гідролітичного розщеплення дисахаридів. Зниження активної кислотності інтенсифікує каталітичний вплив органічних кислот на сахарозу, що закономірно призводить до зростання питомої ваги фракції редукувальних речовин (сумарного вмісту глюкози та фруктози).

Кольоровість є ідентифікаційною ознакою виду сировини та кількісно характеризує вміст барвних речовин – антоціанів, флавоноїдів та каротиноїдів. Визначення проводили спектрофотометрично (КФК-3) у одиницях ICUMSA. Усі зразки збагаченого цукру суттєво перевищують контроль (45 од. ICUMSA): бузиновий – 784, калиновий – 537, горобиновий – 465, обліпиховий – 392. Кольоровість бузинового цукру зумовлена ціанідін-3-глюкозидом та ціанідін-3-самбубіозидом (95 % антоціанів *Sambucus nigra*). Обліпиховий цукор забарвлений переважно каротиноїдами (β-каротин, ксантофіл), що й визначає жовтогарячий колір.

Таблиця 4.4

Масова частка вуглеводів збагаченого цукру

Показник	**Збагачений цукор**			
	бузиновий	**калиновий**	**горобиновий**	**обліпиховий**
Сахароза, %	97,67±0,02	98,36±0,02	94,76±0,02	96,64±0,02
Глюкоза, %	0,20±0,02	0,04±0,02	0,21±0,02	0,09±0,02
Фруктоза, %	0,27±0,02	0,05±0,02	0,23±0,02	0,04±0,02

Певне зниження частки сухих речовин порівняно з вимогами стандарту є закономірним і обґрунтовується присутністю в структурі цукрових кристалів із ягід біологічно активних сполук, зокрема флавоноїдів, антоціанів та органічних кислот. Дослідження вуглеводів свідчать, що збагачений продукт характеризується високим вмістом сахарози, який варіює від 94,76 % (у горобиновому зразку) до 98,36 % (у калиновому), на тлі накопичення редукуючих речовин (РР) у межах 0,09–0,47 %. Наявність фракції редукуючих цукрів (глюкози та фруктози) свідчить про частковий

інверсійний гідроліз сахарози під дією органічних кислот досліджуваної плодово-ягідної сировини під час осмотичного оброблення.

Результати дослідження вмісту флавоноїдів у збагаченому цукрі представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Вміст флавоноїдів у збагаченому цукрі та частка від орієнтовної добової потреби

Показник	**Збагачений цукор**			
	бузиновий	**калиновий**	**горобиновий**	**обліпиховий**
Масова частка флавоноїдів (у перерахунку на кверцетин), %	0,280±0,01	0,036±0,01	0,136±0,01	0,072±0,01
Вміст флавоноїдів, мг/100 г продукту	280	36	136	72

Важливим етапом роботи було визначення флавоноїдного профілю отриманих зразків збагаченого цукру та встановлення їхньої функціональної значущості відносно середньодобових норм споживання (табл. 4.5).

На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено, що масова частка флавоноїдів (у перерахунку на кверцетин) у готових продуктах варіюється в широкому діапазоні - від 0,036 ± 0,005 % до 0,280 ± 0,010 %. У перерахунку на абсолютні одиниці вміст поліфенольних сполук у 100 г цукру становить 36,0–280,0 мг. Абсолютним лідером за цим показником є бузиновий збагачений цукор (280,0 ± 1,0 мг/100 г), що безпосередньо обумовлено високою концентрацією нативних антоціанів та біофлавоноїдів у вихідному масообмінному розчині плодів *Sambucus nigra*. Високий вміст активних речовин зафіксовано також у горобиновому зразку - 136,0 ± 1,0 мг/100 г. У калиновому та обліпиховому видах цукру концентрація флавоноїдів є нижчою і становить 36,0 та 72,0 мг на 100 г продукту відповідно.

Зіставлення отриманих даних із рекомендованими міжнародними нормами середньодобового надходження флавоноїдів (~25–100 мг/добу) дозволяє сформулювати важливий висновок щодо нутрієнтної цінності розроблених продуктів. Вживання лише 100 г бузинового або горобинового цукру повністю покриває (і навіть перевищує нижню межу) добову потребу організму у флавоноїдних антиоксидантах. Для обліпихового та калинового зразків цей показник забезпечує суттєве часткове задоволення норми. Зазначене доводить, що на відміну від вітаміну С, який зазнає значної термодеструкції, поліфенольний комплекс дикорослої сировини успішно кумулюється в кристалічній матриці сахарози, трансформуючи звичайний рафінований носій у повноцінний продукт функціонального призначення.

Важливим критерієм оцінки харчової цінності нових продуктів є визначення фактичного вмісту мікронутрієнтів у розрахунку на загальноприйняту разову порцію споживання. Для кристалічного цукру така порція еквівалентна масі однієї чайної ложки і становить 5,0 г. Результати перерахунку вмісту аскорбінової кислоти та рівня задоволення добової потреби населення наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Вміст вітаміну С у збагаченому цукрі та частка від добової потреби

Збагачений цукор	**Вітамін С у цукрі, мг/100 г**	**Вітамін С у порції 5 г, мкг**	**Задоволення добової потреби в одній порції (5 г), %**
калиновий	0,172±0,005	8,6	0,011
горобиновий	0,064±0,005	3,2	0,004
обліпиховий	0,056±0,005	2,8	0,004
бузиновий	0,045±0,005	2,3	0,003

На підставі розрахункових даних встановлено, що в одній порції (5,0 г) розроблених видів цукру міститься від 2,25 мкг (бузиновий зразок) до 8,60 мкг (калиновий зразок) нативного вітаміну С. Найвищий нутрієнтний потенціал закономірно демонструє калиновий збагачений цукор, у якому концентрація

аскорбінової кислоти у 2,7–3,8 раза перевищує аналогічні показники інших дослідних зразків. Аналіз ступеня задоволення фізіологічної потреби дорослої людини у вітаміні С засвідчив, що споживання однієї порції фортифікованого продукту забезпечує лише від 0,003 % до 0,011 % від рекомендованої добової норми (75,0 мг). Низькі значення цього показника безпосередньо пов'язані з невеликою масою самої порції (5,0 г) та загальним падінням концентрації аскорбінової кислоти в процесі кристалізації цукру. Хоча розроблені види збагаченого цукру на основі ВОР успішно акумулюють стабільні поліфенольні сполуки (флавоноїди), вміст термолабільного вітаміну С у них залишається на мікрорівні. Це доводить, що пропонована технологія позиціонує готовий продукт як джерело антиоксидантів та нативних рослинних пігментів із ефектом Clean Label, тоді як для досягнення вираженого вітамінного збагачення ехнологічна схема вимагає додаткового внесення стабілізованих форм аскорбінової кислоти на стадії фінішного сушіння або глибокого вакуум-концентрування осмолітів.

Додатковим підтвердженням ефективності пропонованих технологічних рішень є оцінка отриманих результатів крізь призму двох базових критеріїв концепції функціонального харчування: кількісної значущості дози мікронутрієнтів та специфіки їхньої фізіологічної дії.

Експериментально доведено, що екстраговані БАР акумулюються в кристалічній матриці сахарози не у слідових кількостях, а у фізіологічно значущих дозах, спроможних чинити позитивний вплив на організм у межах стандартної разової порції споживання продукту (5,0 г). Зокрема, разова порція бузинового цукру забезпечує надходження 14,0 мг флавоноїдів, що становить 14,0–56,0 % від орієнтовного добового споживання поліфенольних сполук (згідно з науковими джерелами, рекомендована межа варіюється в діапазоні 25,0–100,0 мг у кверцетиновому еквіваленті, хоча наразі вона не має статусу жорстко регламентованої законодавчої норми). Одночасно з цим у порції 5,0 г міститься 426,7 мкг сумарного вмісту амінокислот, зокрема 184,4 мкг незамінних. В свою чергу, калиновий цукор у такій самій дегустаційній дозі демонструє найвищий серед усіх розроблених зразків рівень покриття добової потреби в аскорбіновій кислоті.

Зазначене повністю задовольняє методологічну вимогу до нутрієнтного статусу функціональних продуктів – досягнення превентивного та оздоровчого ефектів у межах традиційного раціону харчування населення без штучного або екстремального завищення маси споживання.

Кожна група транслокованих із ВОР БАР характеризується специфічним, науково верифікованим механізмом біохімічної дії: нативні флавоноїдні та антоціанові комплекси виявляють виражену антирадикальну, протизапальну та ендотеліопротекторну (кардіопротекторну) активність; аскорбінова кислота бере участь у регуляції окисно-відновних процесів та виступає кофактором імуномодулювальних реакцій;фруктоза (присутня в кількості 0,04–0,27 %) метаболізується за інсулінонезалежним шляхом.

Синергетичне поєднання мікрокількостей фруктози з поліфенольними антиоксидантами формує вагому медико–біологічну перевагу розробленого збагаченого цукру, мінімізуючи глікемічне навантаження та розширюючи перспективи його застосування в дієтотерапії осіб із порушеннями толерантності до вуглеводів або початковими стадіями метаболічного синдрому.

4.4 Показники безпечності збагаченого цукру

Безпечність збагаченого цукру оцінювали за двома групами показників: вміст токсичних елементів (важких металів) відповідно до Наказу МОЗ України від 13.05.2013 № 368 та мікробіологічні показники відповідно до ДСТУ 4623:2023. Усі дослідження проводились в акредитованій лабораторії ІПР НААН України [136].

Контроль вмісту важких металів є обов'язковим для підтвердження безпечності харчового продукту. За результатами досліджень вміст ртуті, миш'яку, свинцю та кадмію у збагаченому цукрі на основі похідних дикорослої сировини регіонального значення знаходиться на низькому рівні та не перевищує встановлених гранично допустимих концентрацій (ГДК). Продукція є безпечною для споживання. Низький рівень контамінації пояснюється, що сировина, відібрана з територій, визначених як придатні для заготівлі харчової дикорослої сировини; відсутністю хімічних реагентів у технологічному процесі осмотичної дегідратації.

Таблиця 4.7

Показники безпечності збагаченого цукру

Показник	Гранична норма, мг/кг	Фактичне значення, мг/кг
Ртуть	0,01	0,001±0,005
Миш'як	1,0	0,3±0,005
Свинець	0,5	0,08±0,005
Кадмій	0,05	0,0012

Результати токсикологічного дослідження показали, що застосування ВОР, утвореного при переробці дикорослої рослинної сировини не призводить до накопичення токсичних речовин у цукрі.

Також, було проведено мікробіологічний аналіз збагаченого цукру. Результати представлено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Мікробіологічні показники збагаченого цукру

Показник	Нормативне значення	Збагачений цукор			
		калиновий	обліпиховий	бузиновий	горобиновий
МАФАМ (КУО/г)	$\leq 1 \cdot 10^3$	відсутній	$3 \cdot 10^1$	відсутній	відсутній
Плісневі гриби (КУО/г)	$\leq 1 \cdot 10$	відсутній	відсутній	відсутній	відсутній
Дріжджі (КУО/г)	$\leq 1 \cdot 10$	відсутній	відсутній	відсутній	відсутній
БГКП (коліформи)	не допускається	відсутній	відсутній	відсутній	відсутній

Мікробіологічна безпека оцінювалась після 6 місяців зберігання в стандартних умовах. Визначали: МАФАМ, плісневі гриби, дріжджі та бактерії групи кишкових

паличок (БГКП). В усіх зразках, крім обліпихового (МАФАМ $3 \cdot 10^1$ КУО/г – значно нижче нормативу $1 \cdot 10^3$), ріст мікроорганізмів відсутній. Органолептична стабільність підтримується завдяки природним антибактеріальним властивостям антоціанів, флавоноїдів та сорбінової кислоти. Дегустаційна оцінка після 6 місяців підтвердила збереження кольору, запаху та смаку.

4.5 Харчова та біологічна цінність збагаченого цукру

Харчова та біологічна цінність збагаченого цукру визначається комплексом показників: вуглеводним складом (основна енергетична складова), вмістом флавоноїдів і антоціанів (антиоксидантна активність), амінокислотним профілем, вітамінним складом та показниками безпечності. Порівняно зі стандартним цукром-піском (ДСТУ 4623:2023), що є практично чистою сахарозою без жодних БАР, фортифікований цукор набуває якісно нових функціональних властивостей.

Важливим етапом дослідження біологічної цінності розроблених продуктів стало вивчення їхнього амінокислотного профілю, що сформувався внаслідок дифузійного переходу азотистих речовин із рослинної сировини до цукрової матриці (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Амінокислотний склад збагаченого цукру та частка від орієнтовної добової потреби

Показник	Збагачений цукор			
	калиновий	горобиновий	бузиновий	обліпиховий
Сума АК, мг/100 г	0,558±0,005	5,072±0,005	8,534±0,005	2,483±0,005
НАК, мг/100 г	0,123±0,002	1,479±0,002	3,688±0,002	0,322±0,002
АК у порції 5 г, мкг	27,9	253,6	426,7	124,2
НАК у порції 5 г, мкг	6,2	73,9	184,4	16,1
Лейцин, мг/100 г	0,015±0,001	0,149±0,001	1,152±0,001	0,029±0,001

Показник	Збагачений цукор			
	калиновий	горобиновий	бузиновий	обліпиховий
Фенілаланін, мг/100 г	0,020±0,001	0,134±0,001	1,157±0,001	0,088±0,001
Лізин, мг/100 г	0,014±0,001	0,071±0,001	0,082±0,001	0,025±0,001
Всі 8 НАК присутні	відсутні	присутні	присутні	відсутні

За результатами хроматографічного аналізу встановлено, що сумарний вміст амінокислот у збагаченому цукрі варіюється від 0,558 ± 0,005 мг/100 г (калиновий зразок) до 8,534 ± 0,005 мг/100 г (бузиновий зразок). Чітко простежується, що в бузиновому та горобиновому видах цукру концентрація амінокислот є на порядок вищою, ніж в обліпиховому та калиновому.

В бузиновому та горобиновому зразках ідентифіковано повний спектр із усіх 8 незамінних амінокислот (НАК), тоді як в інших зразках окремі компоненти присутні лише на рівні слідових кількостей, що не піддаються кількісному визначенню. Питома вага НАК у загальному пулі амінокислот є досить високою і становить від 22,0 % (у калиновому цукрі) до 43,2 % (у бузиновому цукрі).Серед ідентифікованих індивідуальних незамінних амінокислот особливу увагу привертає високий вміст лейцину та фенілаланіну в бузиновому цукрі (1,152 ± 0,002 та 1,157 ± 0,002 мг/100 г відповідно).

Зіставлення отриманих даних із рекомендованими нормами ВООЗ для дорослої людини свідчить, що в абсолютних значеннях рівень задоволення добової потреби є невисоким, оскільки фізіологічна норма НАК вимірюється грамами, а вміст у цукрі - міліграмами. Проте, розглядаючи звичайну разову порцію споживання цукру (5,0 г), встановлено, що бузиновий цукор забезпечує надходження 426,70 мкг сумарних амінокислот (у т.ч. 184,40 мкг незамінних), а горобиновий – 253,60 мкг.

Отримані дані дозволяють стверджувати, що транслокація амінокислотного комплексу плодів суттєво змінює хімічну природу рафінованого носія. Навіть мікрокількості вільних амінокислот у поєднанні з нативними моноцукрами та

органічними кислотами відіграють вирішальну технологічну роль: вони виступають прекурсорами формування унікального смако–ароматичного профілю готового продукту, а також сприяють покращенню його засвоюваності.

Розрахунок амінокислотного скору представлено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10

Амінокислотний скор зразків збагаченого цукру

Незамінна амінокислота	**Еталон ФАО/ВООЗ, мг/г білка**	**Амінокислотний скор зразків збагаченого цукру, %**			
		калиновий	**горобиновий**	**бузиновий**	**обліпиховий**
Лейцин	59,0	16,9±0,5**	63,5±1,1**	114,3±1,5**	9,8±0,3**
Фенілаланін	38,0	35,1±0,9**	82,1±1,4**	178,2±2,1**	46,3±1,2**
Лізин	45,0	20,7±0,6**	31,4±0,8**	18,2±0,5**	11,1±0,4**

Примітка: Знак (**) вказує на лімітуючі амінокислоти розроблених зразків (коефіцієнт менше 100 %).

Отримані експериментальні дані виявили фундаментальні розбіжності у ступені збалансованості білкових фракцій досліджуваних зразків збагаченого цукру, що обумовлено специфікою біохімічного складу вихідної дикорослої сировини. за вмістом розгалужених та ароматичних амінокислот абсолютним лідером визнано бузиновий збагачений цукор. Білкова фракція цього зразка демонструє високу повноцінність: амінокислотний скор для лейцину становить 114,3±1,5 %, а для фенілаланіну (у сумі з тирозином) досягає екстремального значення – 178,2±2,1% відносно еталону «ідеального білка». Це підтверджує факт глибокої транслокації стабільних азотистих комплексів із клітинного соку плодів *Sambucus nigra* у процесі осмотичної дегідратації.

На противагу цьому, білковий комплекс горобинового збагаченого цукру за всіма трьома позиціями характеризується як лімітований (АС < 100 %). Проте рівень відповідності еталону у горобиновому зразку є помірним: скор фенілаланіну становить 82,1±1,4 %, а лейцину – 63,5±1,1 %, що вказує на вищу нутрієнтну спроможність цього різновиду порівняно з калиновим та обліпиховим аналогами.

Глибокий дефіцит ідентифікованих амінокислот зафіксовано у матрицях калинового та обліпихового видів цукру. Так, скор лейцину в них знижується до 16,9±0,5 % та 9,8±0,3 % відповідно, а фенілаланіну – до 35,1±0,9 % та 46,3±1,2 %. Така тенденція свідчить про те, що під час масообміну з клітинного соку калини й обліпихи дифундували переважно вільні форми індивідуальних амінокислот, тоді як високомолекулярні білкові структури залишилися у шроті сировини.Інтегральним біохімічним маркером для всіх без винятку розроблених зразків фортифікованого цукру є наявність вираженого дефіциту лізину.

Навіть у лідируючому за іншими показниками бузиновому зразку скор лізину становить лише 18,2±0,5 %, що автоматично визначає його як першу лімітуючу амінокислоту для всієї лінійки продуктів. У горобиновому зразку цей показник становить 31,4±0,8 %, у калиновому – 20,7±0,6 %, а в обліпиховому падає до критичної позначки 11,1±0,4 %.

Отримані результати повністю узгоджуються з класичними науковими уявленнями про лімітування лізином незернової рослинної сировини. Результати порівняльного аналізу скору дозволяють зробити важливий науковий висновок.

Попри те, що загальна кількість азотистих речовин у цукрі є невеликою, якісна оцінка їхнього профілю доводить: використання відпрацьованих осмолітів (особливо бузинового та горобинового) забезпечує перенесення біологічно цінних амінокислотних фракцій. Наявність цих компонентів у поєднанні з нативними моноцукрами (глюкозою й фруктозою) відіграє важливу профілактичну та технологічну роль, забезпечуючи формування унікальних сенсорних характеристик готового цукру під час його фінішної теплової обробки.

Для комплексного узагальнення результатів досліджень та наочної оцінки ефективності пропонованої технології збагачення було проведено порівняльний аналіз ключових нутрієнтних та фізико-хімічних характеристик розроблених видів збагаченого цукру з традиційним контрольним зразком – цукром-піском за ДСТУ 4623:2023 (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Порівняльна якісна характеристика збагаченого та стандартного цукру

Показник	**Стандартний цукор-пісок (ДСТУ 4623:2023)**	**Збагачений цукор (діапазон значень для розроблених зразків)**
Флавоноїди, мг/100 г	відсутні	36,00–280,00
Антоціани, мг/100 г	відсутні	виявлено (бузиновий, калиновий зразки)
Вітамін С, мг/100 г	відсутній	0,045–0,172
Сума амінокислот, мг/100 г	відсутні	0,558–8,534
Повнота спектра НАК (усі 8 видів)	відсутні	ідентифіковано в бузиновому та горобиновому зразках
Антиоксидантна активність	не виявляється	виражена (детермінована пулом поліфенолів та амінокислот)
Мікробіологічна стійкість під час зберігання (6 міс.)	відповідає нормам ДСТУ	висока стабільність (завдяки низькому pH та високій концентрації СР)

Результати компаративного аналізу переконливо доводять радикальну трансформацію хімічної природи та біологічного статусу готового продукту. Стандартний цукор-пісок, як рафінована сахарозна матриця, повністю позбавлений есенціальних мікронутрієнтів – у його складі відсутні флавоноїди, антоціани, амінокислоти та вітамін С, що обумовлює його нульову антиоксидантну активність.

Натомість інтеграція вторинних продуктів переробки дикорослої сировини (відпрацьованих осмолітів) дозволила отримати продукт із принципово новим нутрієнтним профілем. Вміст нативних флавоноїдів у розроблених зразках досягає

36,00–280,00 мг/100 г, що супроводжується фіксацією вираженої антиоксидантної (антирадикальної) активності готового продукту.

Важливою технологічною перевагою є транслокація азотистих речовин: сумарний вміст амінокислот становить 0,558–8,534 мг/100 г, причому в бузиновому та горобиновому зразках зафіксовано наявність повного спектра з усіх 8 незамінних амінокислот, що раніше було нетиповим для комерційних видів цукру.

Оцінка мікробіологічних показників та стабільності збагаченого цукру під час тривалого зберігання (протягом 6 місяців) свідчить, що отримані зразки не лише повністю відповідають жорстким критеріям безпеки національного стандарту, а й виявляють підвищену трибологічну та консерваційну стійкість. Синергетичний ефект високої концентрації сухих речовин цукрової матриці та низьких значень активної кислотності (pH 3,28–4,23), зумовлений переходом органічних кислот плодів, формує несприятливе середовище для розвитку патогенної чи технічно шкідливої мікрофлори. Таким чином, розроблений асортимент збагачених цукрів повністю відповідає критеріям функціонального харчування за концепцією Clean Label, поєднуючи високу біологічну цінність із гарантованою екологічною та токсикологічною безпекою..

Висновки до розділу 4

1. Розроблено раціональну технологічну схему виробництва збагачений цукру, що включає два паралельних процеси: підготовку та ОД плодів дикорослих рослин (горобини, калини, обліпихи, бузини) та збагачення цукру-піску ВОР. Ключовими технологічними параметрами є: заморожування плодів при −18 ± 2 °С, ОД при 50 ± 5 °С упродовж 1 год, гідромодуль 1:1, внесення ВОР у кількості 10–20 % від маси цукру та сушіння при 65 ± 5 °С до вологості 0,10–0,14 %. Розроблена технологія може бути впроваджена на діючих підприємствах з переробки плодово-ягідної сировини без суттєвих капітальних витрат.
2. Органолептична оцінка за десятибальною шкалою підтвердила високу споживчу якість усіх чотирьох видів збагаченого цукру. Найвищий інтегральний результат отримав обліпиховий цукор (10/10/10 балів за зовнішнім виглядом,

запахом і смаком та чистотою розчину). Усі зразки характеризуються характерним натуральним забарвленням, приємним ягідним ароматом і відсутністю сторонніх присмаків, що підтверджує їхню ринкову привабливість.

3. Науково обґрунтовано специфіку формування фізико–хімічного та інверсного профілю фортифікованого продукту. Комплексними дослідженнями встановлено радикальну диверсифікацію показників активної кислотності, колірності та вуглеводного складу розробленого цукру порівняно з традиційним контрольним зразком. Зафіксовано зниження водневого показника готового продукту до меж pH 3,30–4,60, що викликано дифузійною транслокацією нативного комплексу оксикарбонових кислот плодово-ягідної сировини. Колористичні характеристики за шкалою ICUMSA перевищують контроль (45,0 од.) у 8,7–17,4 раза та становлять: для бузинового зразка – 784,0 ± 22,0 од.; калинового – 537,0 ± 17,0 од.; горобинового – 465,0 ± 16,0 од.; обліпихового – 392,0 ± 14,0 од. Масова частка сахарози в продуктах становить 94,76–98,36 % за одночасного накопичення суми редукувальних речовин на рівні 0,09–0,47 %, що детерміновано процесами часткового гідролітичного розщеплення дисахаридів під каталітичним впливом екстрагованого кислого середовищ.

4. Ідентифіковано кількісні параметри акумуляції фенольних сполук та вітамінів. Встановлено фізіологічно значущу концентрацію флавоноїдних фракцій (у перерахунку на кверцетин) у діапазоні від 0,036 ± 0,005 % (калиновий цукор) до 0,280 ± 0,010 % (бузиновий цукор). Доведено, що стандартна разова дегустаційна доза (5,0 г) бузинового цукру забезпечує надходження 14,0 мг нативних флавоноїдів, забезпечуючи покриття 14,0–56,0 % від орієнтовної середньодобової потреби людини (25,0–100,0 мг у кверцетиновому еквіваленті). Вміст термолабільної аскорбінової кислоти в усіх зразках стабілізовано на мікрорівні в межах 0,045–0,172 мг/100 г із досягненням максимуму в калиновому різновиді цукру (0,172 ± 0,005 мг/100 г).

5. Верифіковано показники екологічної безпечності та трибологічної стійкості. Доведено повну відповідність розроблених продуктів критеріям токсикологічної безпеки: вміст важких металів та миш'яку не перевищує гранично допустимих

концентрацій (ГДК) відповідно до Наказу МОЗ України № 368 та ДСТУ 4623:2023. За результатами довготривалого зберігання (протягом 6 місяців) підтверджено високу мікробіологічну стабільність цукру. У калиновому, бузиновому та горобиновому зразках ріст мікрофлори повністю нівельовано; в обліпиховому цукрі кількість КМАФАнМ зафіксовано на безпечному рівні $3 \cdot 10^1$ КУО/г (при нормі не більше $1 \cdot 10^3$ КУО/г). Консерваційну стійкість системи обумовлено вираженим синергетичним антибактеріальним ефектом акумульованих антоціанів, біофлавоноїдів та нативної сорбінової кислоти.

6. Доведено якісні переваги розробленого асортименту за критеріями біологічної цінності. На відміну від рафінованого цукру-піску, пропоновані продукти характеризуються наявністю азотистих речовин із сумарним вмістом амінокислот 0,558–8,534 мг/100 г, причому бузиновий та горобиновий зразки містять збалансований пул із усіх 8 незамінних амінокислот. Визначено індивідуальні технологічні вектори зразків: бузиновий цукор характеризується максимальним накопиченням флавоноїдів (280,0 мг/100 г), амінокислот (8,534 мг/100 г) та редукувальних речовин (0,47 %); калиновий зразок є пріоритетним за концентрацією вітаміну С (0,172 мг/100 г) та рівнем збереження вихідної кристалічної решітки сахарози (98,36 %).

7. Сформульовано комплексну концепцію поліфункціональної дії збагаченого цукру. Розроблені продукти успішно поєднують технологічні функції традиційного підсолоджувача з превентивними властивостей нативних БАР (флавоноїдів, антоціанів, амінокислот, вітаміну С та каротиноїдів). Присутність мікрокількостей фруктози (0,04–0,27 %) у синергізмі з фенольними антиоксидантами дозволяє знизити сумарне глікемічне навантаження на організм, що розширює перспективи використання цукру в дієтотерапії осіб із порушеннями толерантності до вуглеводів. Висока термостабільність флавоноїдного комплексу (до температур 80–100 °С) експериментально підтверджує можливість інтеграції розроблених напівфабрикатів у промислові технології кондитерського та хлібопекарського виробництва без втрати їхнього функціонального потенціалу.

РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗБАГАЧЕНОГО ЦУКРУ

5.1 Розроблення системи НАССР виробництва збагаченого цукру

5.1.1 Загальна характеристика системи НАССР та обґрунтування її впровадження

Система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points – Аналіз небезпечних чинників та критичні контрольні точки) є міжнародно визнаним інструментом управління безпечністю харчових продуктів, що базується на превентивному підході до ідентифікації, оцінки та контролю небезпечних факторів на всіх стадіях виробничого ланцюга. Система НАССР рекомендована до застосування міжнародними організаціями FAO, WHO, ICMSF та IAMFES як найефективніший засіб забезпечення безпеки харчових продуктів [123], [116] .

В Україні застосування системи НАССР є обов'язковим для всіх операторів ринку харчових продуктів відповідно до Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» (№ 771/97-ВР зі змінами) та Регламенту (ЄС) № 852/2004, норми якого імплементовані у вітчизняне законодавство. Нормативну базу для збагаченого цукру складають: ДСТУ 4623:2023 та ТУ У 10.8-04718013-009:2023 «Цукор вітамінізований пресований».

Збагачений цукор, виготовлений із застосуванням осмотованих розчинів плодів дикорослих рослин (калини, горобини, бузини, обліпихи), є новим видом продукту, для якого відсутні стандартизовані плани НАССР. Специфіка його виробництва визначає наступні ключові чинники ризику:

– використання нестандартизованої рослинної сировини (дикорослі плоди) з потенційним вмістом мікотоксинів, пестицидів та важких металів;
– процес осмотичної дегідратації при температурі 50 °С створює умови, за яких можливий розвиток термофільних мікроорганізмів при порушенні режимів;
– наявність редукуючих речовин (глюкоза 0,04–0,21 %, фруктоза 0,04–0,27 %) прискорює реакцію Майяра та меланоїдиноутворення при підвищених температурах;

– органічні кислоти плодів зумовлюють кислотне середовище (pH 3,30–4,60), що уповільнює ріст мікроорганізмів, але може прискорювати корозію обладнання та вивільнення іонів важких металів.

Система HACCP для виробництва збагаченого цукру розроблена відповідно до семи принципів кодексу Аліментаріус CAC/RCP 1-1969 та ДСТУ ISO 22000:2019 «Системи управління безпечністю харчових продуктів» [124].

5.1.2 Опис продукту та визначення призначення

Першим кроком при розробленні системи HACCP є складання повного опису продукту відповідно до вимог кодексу Аліментаріус. Опис збагаченого цукру із зазначенням усіх характеристик, що впливають на безпечність продукту, наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Опис збагаченого цукру похідними дикорослих рослин

Показник	**Характеристика збагаченого цукру**			
	бузиновий	**калиновий**	**обліпиховий**	**горобиновий**
1	2	3	4	5
Назва продукту	Збагачений цукор похідними дикорослої сировини (цукор бузиновий, калиновий, горобиновий, обліпиховий)			
Нормативний документ	ТУ У 10.8-04718013-009:2023 «Цукор вітамінізований пресований. Технічні умови»; ДСТУ 4623:2023			
Зовнішній вигляд	Окремі шматочки у формі паралелепіпеда, кубика або інших форм; поверхня – суха, рівна, без тріщин			
Колір (залежно від виду)	від темно-рожевого до фіолетового	від світло-рожевого до червоного	світло-жовтий або кремовий	світло-рожевий
Масова частка сахарози, % до СР	97,67	98,36	94,76	96,64

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
Масова частка глюкози, % до СР	0,20	0,04	0,21	0,09
Масова частка фруктози, % до СР	0,27	0,05	0,23	0,04
Запах і смак	Солодкий, з незначним характерним запахом і присмаком відповідної ягідної сировини; відсутність сторонніх запахів та присмаків			
Масова частка вологи, %, ≤	0,25			
Масова частка феродомішок, %, ≤	0,0003			
Міцність (опір роздроблюванню, пресом Бонвеча), МПа, ≥	1,5			
Призначення та споживачі	Продукт для широкого харчування населення, включаючи дітей шкільного віку та дорослих; не рекомендовано для осіб із цукровим діабетом без консультації лікаря			
Пакування	Паперові, поліетиленові або поліпропіленові пакети (до 0,25 кг); індивідуальні пакетики по 1–3 шматочки (2–50 г); художньо оформлені пакети з комбінованих матеріалів			
Термін зберігання	2 роки від дати виготовлення при відносній вологості повітря не вище 75 % і температурі 20 ± 5 °С			
Умови зберігання	Сухі складські приміщення без стороннього запаху, захист від прямих сонячних променів; товар не має зберігатись разом із речовинами з різким запахом			

Закінчення таблиці 5.1

Маркування	Відповідно до Технічного регламенту маркування харчових продуктів (постанова КМУ від 06.08.2014 № 771 зі змінами); назва, склад, харчова цінність, термін придатності, виробник, умови зберігання

Збагачений цукор є продуктом широкого споживання, призначеним для харчування населення всіх вікових груп. Враховуючи наявність природних барвних речовин (антоціанів, флавоноїдів, каротиноїдів) та органічних кислот, продукт слід маркувати із зазначенням виду ягідної добавки та рекомендаціями щодо вживання для осіб з алергічними реакціями на відповідні рослини

5.1.3 Технологічна блок-схема виробництва та верифікація на місці

Другим кроком при розробці HACCP є складання детальної технологічної блок-схеми із зазначенням усіх операцій від надходження сировини до відвантаження готової продукції. На рис. 5.1 представлено блок–схему виробництва збагаченого цукру.

1	Постачання та приймання сировини (плоди, цукор, пакувальні матеріали, вода)
▼	
2	Миття та інспекція плодів
▼	
3	Сортування та відбраковування
▼	
4	Сушіння поверхневої вологи (конвективна сушарка, 20 ± 2 °C)
▼	
5	Фасування та заморожування (-18 ± 2 °C)
▼	
6	Зберігання плодів у замороженому стані (до завершення бурякопереробного сезону)
▼	
7	Дефростація (20 ± 2 °C, конвективна сушарка)
▼	

8	Приготування 70 % розчину сахарози (нагрів до 65 ± 2 °С)
▼	
9	Осмотична дегідратація (змішування 1:1, t = 50 ± 5 °С, τ = 1 год, перемішування)
▼	
10	Розділення суміші (фільтрація через сито № 015)
▼	
11	Змішування осматованого розчину (10–20 %) з цукром-піском
▼	
12	Сушіння збагаченого цукру (вакуумна сушарка 65 ± 5 °С, W = 0,10–0,14 %)
▼	
13	Пресування (для пресованого цукру), сушіння (80–85 °С)
▼	
14	Контроль якості (органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні показники)
▼	
15	Пакування та маркування
▼	
16	Зберігання та реалізація (1 рік, t = 20 ± 5 °С, φ ≤ 75 %)

Рис. 5.1 – Технологічна блок-схема виробництва збагаченого цукру ВОР

Блок-схема верифікована безпосередньо на виробничому майданчику шляхом обстеження всіх технологічних операцій, потоків сировини та продукції, персоналу та обладнання. Верифікація підтвердила відповідність блок–схеми реальному технологічному процесу та виявила необхідність включення до схеми операцій CIP/SIP як окремих контрольних точок.

5.1.4 Ідентифікація небезпечних чинників у сировині та матеріалах

Відповідно до принципу 1 системи HACCP, проведено аналіз та ідентифікацію всіх потенційних небезпечних чинників (біологічних, хімічних та фізичних) у сировині, матеріалах і допоміжних засобах, що використовуються у виробництві збагаченого цукру. Результати аналізу небезпек у сировині наведено в табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Ідентифікація та оцінка небезпечних чинників у сировині та матеріалах

Сировина / матеріали	**Небезпечний чинник (Б – біол., Х – хім., Ф – фіз.)**	**Джерело небезпеки**	**Значимість**	**Контрольні заходи та попереджуючі дії**
Подача води зі свердловини / водопроводу	Б: МАФАМ, БГКП Х: важкі метали, залишки дезінфектантів Ф: механічні домішки	Забруднення водопроводу; можливе потрапляння стічних вод; нерегулярна перевірка якості	Середня	Контроль безпеки води (хімічний аналіз 2 р/рік, мікробіологічний – 1 р/квартал); встановлення фільтрів і системи знезараження (УФ, хлорування)
Приймання плодів дикорослих рослин	Б: МАФАМ, БГКП, Salmonella spp., Cryptosporidium parvum, плісневі гриби (Aspergillus, Penicillium) Х: пестициди, патулін, важкі метали Ф: механічні домішки, ґрунт, комахи	Порушення умов транспортування та зберігання; незадовільний санітарний стан тари; збирання із забруднених ділянок	Середня–Висока	Приймання лише від перевірених постачальників (наявність сертифіката якості); вхідний контроль (відбір проб); видалення домішок на наступних етапах миття та сортування

Продовження таблиці 5.2

Сировина / матеріали	**Небезпечний чинник (Б – біол., Х – хім., Ф – фіз.)**	**Джерело небезпеки**	**Значимість**	**Контрольні заходи та попереджуючі дії**
Приймання цукру-піску	Б: МАФАМ, БГКП, плісневі гриби Х: залишки мийних засобів (при порушенні умов пакування) Ф: металічні частки, сторонні включення	Порушення умов транспортування та зберігання; пошкодження упаковки	Середня	Приймання з документами (посвідчення якості ДСТУ 4623:2023); вхідний контроль; зберігання у сухому приміщенні
Пакувальні матеріали (паперові, поліетиленові пакети)	Б: МАФАМ, БГКП Х: залишки мийних засобів, міграція хімічних речовин з пакувального матеріалу Ф: пил, уламки скла, бруд	Персонал; несправність обладнання; порушення умов зберігання та транспортування	Висока	Контроль пакувальних матеріалів (сертифікат харчової безпеки); зберігання в ізольованих умовах; повернення постачальнику у разі виявлення відхилень

Закінчення таблиці 5.2

Сировина / матеріали	**Небезпечний чинник (Б – біол., Х – хім., Ф – фіз.)**	**Джерело небезпеки**	**Значимість**	**Контрольні заходи та попереджуючі дії**
Допоміжні матеріали (мийні та дезінфекційні засоби)	Х: залишки в продукті при неналежному ополіскуванні Ф: помилкове застосування	Недотримання технологій мийки та дезінфекції; відсутність контролю концентрацій	Висока	Використання лише дозволених мийних засобів; суворе дотримання інструкцій з ополіскування; реєстрація процедур CIP/SIP

Особливу увагу слід приділити мікологічній безпеці плодів дикорослих рослин. Плісневі гриби роду *Aspergillus, Penicillium* та *Byssochlamys* можуть продукувати небезпечний мікотоксин – патулін. Ризик контамінації патуліном є найвищим при використанні пошкоджених або нестиглих плодів, а також при порушенні умов їх зберігання. Відповідно до Регламенту ЄС № 1881/2006 та вітчизняних санітарних норм, гранично допустима концентрація патуліну у продуктах переробки яблук та ягід становить 50 мкг/кг. Оскільки плоди безпосередньо не термінуються при виробництві збагаченого цукру, контроль вхідної сировини є критичним.

Щодо хімічних небезпек: дикорослі рослини зазвичай не обробляються пестицидами, однак можуть зростати поблизу сільськогосподарських угідь, автодоріг та промислових об'єктів, де можливе забруднення важкими металами (Pb, Cd, Hg, As). Відбір ягід виключно з екологічно чистих районів та наявність відповідних документів є обов'язковою умовою забезпечення якості сировини.

5.1.5 Матриця оцінки ризиків виробництва

Для кількісної оцінки значимості небезпечних чинників застосовано метод матриці ризиків, що базується на оцінці двох параметрів:

- ймовірності виникнення небезпеки (1 – низька, 2 – середня, 3 – висока);
- тяжкості її наслідків для здоров'я споживача (1 – незначна, 2 – середня, 3 – висока).

Добуток цих параметрів визначає рівень ризику: 1–2 – прийнятний, 3–4 – значний, 6–9 – критичний. Результати оцінки наведено в табл. 5.3

Таблиця 5.3

Матриця оцінки ризиків при виробництві збагаченого цукру (І – ймовірність, Т – тяжкість)

Небезпека / ризик	**Тип**	**Ймовірність (1–3)**	**Тяжкість (1–3)**	**Рівень ризику (І×Т)**	**Заходи управління**
Приймання плодів – пестициди	Х	Висока (3)	Висока (3)	9 – Критичний	ККТ-1
Приймання плодів – Salmonella/БГКП	Б	Середня (2)	Висока (3)	6 – Значний	ККТ-1
Осмотична дегідратація – t режим	Б	Середня (2)	Середня (2)	4 – Значний	ККТ-4
Осмотична дегідратація – мийні засоби	Х	Низька (1)	Висока (3)	3 – Прийнятний	ККТ-4
Сушіння – недостатня вологість (W>0,14 %)	Б	Середня (2)	Висока (3)	6 – Значний	ККТ-6
Сушіння – перегрів (t>70 °C)	Х	Середня (2)	Середня (2)	4 – Значний	ККТ-6

Продовження таблиці 5.3

Небезпека / ризик	**Тип**	**Ймовірність (1–3)**	**Тяжкість (1–3)**	**Рівень ризику (І×Т)**	**Заходи управління**
Пакувальні матеріали – міграція хімікатів	Х	Низька (1)	Висока (3)	3 – Прийнятний	Попередня програма
Металеві частки від обладнання (фільтр)	Ф	Низька (1)	Висока (3)	3 – Прийнятний	Металодетекція
Готова продукція – МАФАМ >норми	Б	Середня (2)	Висока (3)	6 – Значний	ККТ-7
Зберігання – порушення умов (φ, t)	Б	Низька (1)	Середня (2)	2 – Прийнятний	Попередня програма

Аналіз матриці ризиків показує, що критичний рівень ризику (9 балів) має лише один чинник – пестициди у сировині, що обумовлює необхідність суворого вхідного контролю (ККТ–1). Значний рівень ризику (4–6 балів) мають мікробіологічні небезпеки на стадіях приймання, осмотичної дегідратації та сушіння. Для всіх значних і критичних ризиків встановлено критичні контрольні точки (ККТ-1–ККТ-7).

5.1.6 Визначення критичних контрольних точок та план HACCP

Критичні контрольні точки (ККТ) визначено на основі дерева рішень (Decision Tree) відповідно до кодексу Аліментаріус. ККТ – це етап виробничого процесу, де застосування контрольних заходів є критичним для запобігання, усунення або зниження до прийнятного рівня небезпечного чинника. Визначено 7 ККТ у виробництві збагаченого цукру. Повний план HACCP із зазначенням небезпечних чинників, критичних меж, моніторингу та коригуючих дій наведено в табл. 5.4

Таблиця 5.4

План HACCP виробництва збагаченого цукру похідними дикорослих рослин

Етап виробництва	**ККТ**	**Небезпечні чинники**	**Критичні межі**	**Моніторинг**	**Коригуючі дії**	**Відповідальний**	**Записи**
1. Приймання плодів	ККТ-1	Б, Х, Ф: МАФАМ, пестициди, механічні домішки	Наявність сертифіката якості; МАФАМ ≤ 5×10^4 КУО/г; пестициди – у межах ДР	контроль кожної партії: органолептика + перевірка док;мікробіол. – 1 р/місяць	Відмова без документів; повернення постачальнику; карантин підозрілих партій	Завідувач виробництвом	Журнал вхідного контролю сировини; акти відбраковування
2. Миття та інспекція плодів	ККТ-2	Б: МАФАМ, БГКП, Сальмонела	Ефективне видалення бруду; t води ≥ 20 °C; pH води 6,5–8,5	Перевірка води щозміни; органолептика після миття; мікробіол. контроль – 1 р/тиждень	Повторне миття; зміна води; перевірка справності обладнання	Технолог зміни	Журнал миття; протоколи мікробіол. аналізу

Продовження таблиці 5.4

Етап виробництва	**ККТ**	**Небезпечні чинники**	**Критичні межі**	**Моніторинг**	**Коригуючі дії**	**Відповідальний**	**Записи**
3. Сортування та заморожування (-18 ± 2 °C)	ККТ-3	Б: розвиток мікрофлори при неналежному температурному режимі Ф: стороні домішки	t заморожування – 18 ± 2 °C; нестиглі/пошкоджені плоди – відбраковані ≥ 98 %	Безперервний контроль температури в камері (термографи); перевірка відбракування – щозміни	Регулювання температурного режиму; ремонт або заміна обладнання; посилений контроль інспекції	Технолог; оператор холодильного обладнання	Термографи; журнал сортування
4. Дефростація (20 ± 2 °C)	—	Б: розвиток мікрофлори при підвищеній t або тривалому зберіганні	t дефростації 20 ± 2 °C; час – не більше 12 год; подача в переробку відразу після	Моніторинг t дефростаційної камери кожні 2 год; контроль часу дефростації	Прискорена переробка; відбракування плодів із ознаками псування	Технолог зміни	Журнал дефростації

Продовження таблиці 5.4

Етап виробництва	**ККТ**	**Небезпечні чинники**	**Критичні межі**	**Моніторинг**	**Коригуючі дії**	**Відповідальний**	**Записи**
5. Приготування 70 % розчину, осмотична дегідратація (50 ± 5 °C, 1 год)	ККТ-4	Х: залишки мийних засобів Б: розвиток термофільних мікроорганізмів	t = 50 ± 5 °C; τ = 60 ± 5 хв; pH осмат. розчину 3,5–5,0; залишки мийних засобів – відсутні	Контроль температури кожні 15 хв; контроль pH; перевірка якості ополіскування	Коригування t нагріву; повторне ополіскування обладнання; заміна партії при pH поза межами	Технолог; оператор установки	Термографи; журнал ОД; протоколи pH
6. Фільтрація (сито № 015)	—	Ф: потрапляння часток сита при зносі Б: контамінація при зупинці процесу	Цілісність сита перевіряється перед кожним циклом; відсутність металевих частинок	Огляд сита перед і після кожного циклу; металодетекція фільтрату (1 р/тиждень)	Заміна пошкодженого сита; повторна фільтрація; посилений металодетекційний контроль	Оператор	Журнал інспекції обладнання

Продовження таблиці 5.4

Етап виробництва	**ККТ**	**Небезпечні чинники**	**Критичні межі**	**Моніторинг**	**Коригуючі дії**	**Відповідальний**	**Записи**
7. Змішування осмот. розчину з цукром-піском	ККТ-5	Б: контамінація при тривалому зберіганні розчину Х: залишки мийних засобів у мішалці	Час між ОД і змішуванням – не більше 2 год; залишки мийних засобів – відсутні; Т суміші ≤ 55 °С	Контроль часу; температурний контроль; перевірка чистоти щозміни	Утилізація розчину при затримці >2 год; повторне ополіскування обладнання	Технолог зміни	Журнал змішування; журнал CIP
8. Сушіння (65 ± 5 °С, W = 0,10–0,14 %)	ККТ-6	Б: недостатнє сушіння → вологість >0,14 % → розвиток мікрофлори Х: перегрів → деградація БАР	W = 0,10–0,14 %; t сушіння 65 ± 5 °С; час – до досягнення норми вологості	Вологість – кожна партія (термогравімет р або КФ-метод); t сушарки – безперервно (термографи)	Досушування при W > 0,14 %; зниження t при W < 0,10 %; відбракування при критичних відхиленнях	Технолог; оператор сушарки	Журнал сушіння; протоколи вологості

Закінчення таблиці 5.4

Етап виробництва	**ККТ**	**Небезпечні чинники**	**Критичні межі**	**Моніторинг**	**Коригуючі дії**	**Відповідальний**	**Записи**
9. Контроль якості готової продукції	ККТ-7	Б, Х, Ф: всі типи небезпек, що не були усунені на попередніх етапах	МАФАМ ≤ 1×10³ КУО/г; відсутність БГКП, плісені ≤ 10, дріжджів ≤ 10; відповідність ТУ	Мікробіол. аналіз кожної партії; органолептика кожної партії; фізико-хімічні – 1 р/10 партій	Відбракування партії; аналіз причин відхилення; коригування попередніх ККТ; повідомлення керівництва	Лаборант; зав. Лаборато-рією	Протоколи мікробіол. аналізу; сертифікати відповідності
10. Пакування та зберігання	—	Б: контамінація при порушенні умов пакування Ф: пошкодження упаковки	Герметичність упаковки; t зберігання 20 ± 5 °C; φ ≤ 75 %	Перевірка герметичності упаковки; контроль мікроклімату складу (2 р/добу)	Перепакування або відбракування; регулювання умов складу	Комірник; технолог	Журнал зберігання; карти зберігання

Особливістю плану HACCP для збагаченого цукру є наявність ККТ-4 на стадії осмотичної дегідратації – операції, що є унікальною для даного виду продукту і відсутньої в традиційному цукровому виробництві. Температурний режим 50 ± 5 °C є критичним параметром: при підвищенні температури понад 55 °C відбувається деструкція термолабільних компонентів (вітамін С, антоціани), тоді як при зниженні нижче 45 °C – підвищується ризик розвитку мезофільних мікроорганізмів.

ККТ— 7 (контроль якості готової продукції) є фінальним бар'єром безпечності і включає обов'язковий мікробіологічний аналіз кожної партії. Встановлені критичні межі (МАФАМ ≤ 1×10^3 КУО/г, відсутність БГКП та S. aureus, плісені та дріжджі ≤ 10 КУО/г) відповідають вимогам ДСТУ 4623:2023 та були підтверджені результатами мікробіологічних досліджень після 6 місяців зберігання.

5.1.7 Програми-передумови та допоміжні заходи

Ефективне функціонування системи HACCP неможливе без розробки та впровадження програм-передумов (Prerequisite Programs, PRP), які забезпечують базові гігієнічні умови виробництва та підтримку виробничого середовища. Відповідно до ДСТУ ISO/TS 22002 — 1:2019 «Програми-передумови для безпечності харчових продуктів», для виробництва збагаченого цукру розроблено 7 обов'язкових програм-передумов (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Програми-передумови (PRP) виробництва збагаченого цукру

Програма-передумова	**Заходи та частота контролю**	**Відповідальний**	**Записи / документи**
Санітарія та гігієна персоналу	Щоденно до початку зміни: перевірка санітарного стану; медогляд 1 р/рік; навчання HACCP – 1 р/рік	Технолог зміни	Журнал особистої гігієни
Санітарна обробка обладнання (CIP/SIP)	Щозміни: промивання → знезараження → ополіскування (перевірка pH ополіскувальної води); перевірка концентрації дезінфектанту – щодня	Оператор санітарної обробки	Журнал CIP; карти мийки
Контроль мікроклімату виробничих приміщень	2 р/добу: t та φ повітря; 1 р/квартал – мікробіол. контроль повітря та поверхонь	Технолог; лаборант	Журнал мікроклімату
Контроль якості технологічної води	Хімічний аналіз – 2 р/рік; мікробіол. – 1 р/квартал; щоденна перевірка хлору (при хлоруванні)	Лаборант	Протоколи аналізу води

Продовження таблиці 5.5

Програма-передумова	**Заходи та частота контролю**	**Відповідальний**	**Записи / документи**
Боротьба із шкідниками	Профілактичний огляд – 1 р/місяць; дератизація та дезінсекція – за потребою, не рідше 1 р/квартал	Служба дезінфекції (зовнішня організація)	Журнал обходів; акти знищення
Калібрування контрольно-вимірювальних приладів	Термометри, pH-метри, ваги – 1 р/рік (зовнішня метрологічна служба) + внутрішня перевірка щомісяця	Метролог; технолог	Свідоцтва про повірку; журнал калібрування
Вхідний контроль пакувальних матеріалів	Кожна партія: перевірка документів (сертифікат харч. безпеки) + органолептика; мікробіол. – 1 р/місяць	Завідувач складом; лаборант	Журнал вхідного контролю

Слід зазначити, що у контексті виробництва збагаченого цукру із дикорослих ягід особливого значення набуває програма вхідного контролю сировини. З огляду на умови воєнного стану в Україні та можливе забруднення навколишнього середовища, необхідно посилити контроль мікробіологічних та хімічних показників ягідної сировини, особливо з прифронтових областей. Рекомендується проводити аналіз на вміст важких металів (Pb, Cd, Hg, As) не рідше одного разу на квартал для кожного місця збору сировини.

5.1.8 Верифікація та валідація системи НАССР

Верифікація системи НАССР здійснюється для підтвердження її ефективного функціонування та відповідності меті – виробництву безпечної та якісної продукції. Верифікація включає:

– аудит документів системи НАССР (не рідше 1 р/рік внутрішній, 1 р/2 роки – зовнішній);

– аналіз результатів мікробіологічного моніторингу готової продукції (порівняння з критичними межами);

– перевірку функціонування приладів контролю (термографи, pH-метри, ваги) через калібрування;

– аналіз рекламацій від споживачів та повернень продукції;

– перегляд плану НАССР при зміні технологічного процесу, сировини або вимог законодавства.

Валідація системи підтверджується результатами досліджень, наведених у цій роботі: встановленими мікробіологічними показниками після 6 місяців зберігання, що відповідають нормативам ДСТУ 4623:2023; відтворюваними фізико-хімічними показниками (вміст сахарози, глюкози, фруктози; стабільним амінокислотним профілем осмотованих сиропів.

Відповідно до вимог системи НАССР, всі записи та документи мають зберігатись не менше 2 років після закінчення терміну придатності продукту. Обов'язковий перелік документації включає: план НАССР та всі пов'язані процедури;

журнали моніторингу ККТ; протоколи мікробіологічних та фізико-хімічних аналізів; записи про коригуючі дії; протоколи верифікації та аудитів [125 —131].

5.2 Технологічні аспекти використання збагаченого цукру для виробництва карамелі

5.2.1 Технологія натуральної льодяникової карамелі

Збагачений цукор, отриманий методом ОД плодів дикорослих рослин, являє собою не лише самостійний функціональний продукт, але й перспективну сировину для виробництва цукрових кондитерських виробів – зокрема карамелі. Унікальний хімічний склад збагаченого цукру (амінокислоти, флавоноїди, органічні кислоти, редукуючі речовини, природні барвники) визначає специфіку його поведінки при термічній обробці та формування смако-ароматичного профілю кінцевого продукту.

Для дослідження впливу високих температур на показники якості збагаченого цукру та можливості його застосування як кондитерської сировини розроблено технологічну схему виготовлення карамелі (рис.5.2). Схема базується на класичній технології кислотної або чистої карамелі, але з використанням осмотичного розчину замість частини цукрового сиропу.

Технологічний процес виробництва збагаченого цукру передбачає приймання трьох видів сировини за окремими паралельними потоками: відпрацьованих осмотичних розчинів (обліпихового, бузинового, калинового, горобинового), патоки крохмальної та збагаченого цукру-піску.

Відпрацьовані осмотичні розчини після приймання підлягають фільтруванню з метою видалення механічних домішок і завислих часток, тоді як цукор-пісок проходить просіювання через сито з розміром отворів 1–1,2 мм для видалення грудок і сторонніх включень; патока крохмальна надходить на виробництво без попередньої обробки. Профільтрований осмотичний розчин нагрівають до температури 65±5 °С, після чого змішують із просіяним цукром у співвідношенні 50 % розчину до 50 % цукру та патокою крохмальною, яка виконує функцію антикристалізатора.

Рис. 5.2 – Технологічна схема виготовлення карамелі на основі збагаченого цукру

Отриману суміш уварюють за температури 120±5 °С до досягнення масової частки сухих речовин не менше 97 %, після чого сироп охолоджують до температури 88±5 °С. Далі охолоджений сироп піддають витягуванню з формуванням карамельної маси, яку потім охолоджують до температури 18±2 °С для стабілізації структури.

Готову карамельну масу фасують, пакують і маркують відповідно до нормативних вимог, а готовий збагачений цукор зберігають за температури 18±3 °С та відносної вологості повітря 75 % протягом терміну придатності не більше 9 місяців.

5.2.2 Оцінка якості натуральної льодяникової карамелі

З метою встановлення споживчих характеристик проведено аналіз показників якості натуральної карамелі, виготовленої на основі збагаченого цукру.

Органолептичну оцінку чотирьох видів карамелі проводили за методикою, аналогічною оцінці збагаченого цукру (підрозділ 3.2.6): 10 непрофесійних дегустаторів, десятибальна шкала, двосесійний протокол, дегустаційна зала СНАУ. Оцінку здійснювали відповідно до ДСТУ 3893-2016 «Вироби кондитерські. Карамель» за чотирма дескрипторами: колір, запах, смак, поверхня. Результати наведено в табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Органолептичні показники карамелі на основі чотирьох видів збагаченого цукру

Показник	**Натуральна льодяникова карамель**			
	обліпихова	**горобинова**	**калинова**	**бузинова**
Колір	Оранжевий	Темно-червоний	Червоний	Темно-фіолетовий з коричневим відтінком
Запах	Чітко виражений запах обліпихи та карамелі	Виражений запах горобини з нотками кислинки	Чітко виражений запах калини та карамелі	Характерний запах бузини, фруктово-карамельний
Смак	Смак обліпихи, солодкий	Смак горобини з приємною кислинкою та гірчинкою	Чіткий смак карамелі зі смаком калини	Яскраво виражений смак бузини з багатим ароматом
Поверхня	Суха, без тріщин, гладка	Суха, без тріщин, гладка	Суха, без тріщин, гладка	Суха, без тріщин; незначні сколи

Обліпихова карамель має приємний колір, це пояснюється унікальними властивостями каротиноїдів обліпихи: β–каротин та ксантофіл є більш термостабільними порівняно з антоціанами і при нагріванні до 120 °С не лише не деградують, а й посилюють інтенсивність оранжевого забарвлення завдяки концентраційному ефекту (відбувається видалення залишкової вологи). Ароматичні сполуки обліпихи, незважаючи на значний вміст органічних кислот і природну кислотність ягоди, під дією температури трансформуються у солодкі ефірні сполуки, що зумовлює приємний солодкуватий присмак без відчутної кислинки [131].

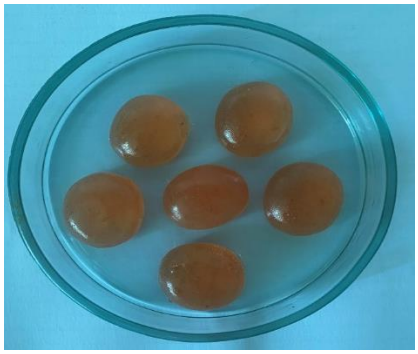
 .

Рис. 5.3 – Обліпихова карамель

Горобинова карамель (рис. 5.4) набула темно–червоного кольору з коричневим відтінком внаслідок часткової термічної деградації антоціанів при t = 120 °С. Має характерну приємну кислинку та гірчинку, які забезпечуються сорбіновою та яблучною кислотами горобини. Саме сорбінова кислота – природний консервант, вперше виділений з плодів *Sorbus aucuparia,* – надає горобиновій карамелі унікальний смаковий акцент [132].

Рис. 5.4 – Горобинова карамель

Калинова карамель (рис. 5.5) зберегла насичений червоний колір та характерний смак і запах калини. Це пояснюється відносно невеликою кількістю амінокислот у калиновому осмотованому розчині (3,63 мг/100 мл – найнижчий серед чотирьох видів), що знижує інтенсивність забарвлення, зберігаючи «чистоту» природного антоціанового кольору. Хорогенова кислота, що домінує у складі БАР калини, виявляє антиоксидантну дію щодо антоціанів, частково захищаючи їх від термічної деградації [133].

Рис. 5.5 – Калинова карамель

Бузинова карамель (рис. 5.6) набула темно-фіолетового кольору з коричневим відтінком та найбагатшим букетом аромату – поєднанням фруктових нот бузини та класичних карамельних нот. Бузиновий збагачений цукор містить найвищу концентрацію амінокислот (8,534 мг/100 г при 20 % сиропу) з домінуванням тирозину (1,431), аланіну (1,215), фенілаланіну (1,157) та лейцину (1,153). Усі ці амінокислоти обумовлюють характерні ароматичні сполуки: тирозин → фенілетаналь (трояндовий аромат); аланін → ацетальдегід (фруктові нотки); фенілаланін → фенілоцтова кислота; лейцин → 3-метилбутаналь (шоколадні нотки) [134], [135]. Незначні сколи на поверхні зразка зумовлені вищим вмістом барвних речовин і органічних кислот, що впливає на кристалізацію цукру.

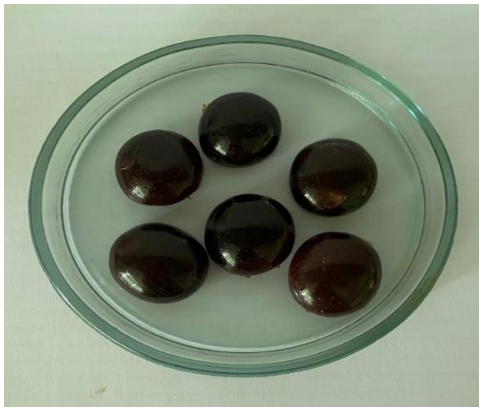


Рис. 5.6 – Бузинова карамель

Фізико-хімічні показники якості натуральної карамелі представлено в таблиці 5.8

Таблиця 5.8

Фізико-хімічні показники якості натуральної льодяникової карамелі

Показник	**Натуральна льодяникова карамель**				**Норма за ДСТУ 3893:2016**
	обліпихова	**горобинова**	**калинова**	**бузинова**	
Масова частка вологи, %	2,36 ±0,05	2,48±0,05	2,41±0,05	2,57±0,05	≤ 4,0
Кислотність, град.	13,2±0,2	11,4±0,2	12,6±0,2	10,8±0,2	≥ 10,0
Масова частка редукуючих речовин, %	17,82±0,15	18,46±0,15	17,95±0,15	19,12±0,15	≤ 20,0
Масова частка сухих речовин, %	97,64±0,05	97,52±0,05	97,59±0,05	97,43±0,05	—

За результатами дослідження фізико-хімічних показників встановлено, що всі досліджувані зразки натуральної льодяникової карамелі характеризувалися відповід-

ними показниками якості та відповідали встановленим вимогам ДСТУ 3893:2016. Масова частка вологи у досліджуваних зразках становила від 2,36 до 2,57 %, що не перевищувало нормативного значення 4,0 %. Найнижчий вміст вологи встановлено у зразку обліпихової карамелі (2,36 %), а найвищий — у бузинової (2,57 %).

Кислотність досліджуваних зразків знаходилася в межах 10,8–13,2 град. Найвище значення встановлено для обліпихової карамелі (13,2 град.), що відповідає найнижчому значенню pH обліпихового ВОР (3,28) серед усіх чотирьох зразків і, відповідно, найвищому вмісту органічних кислот. Найнижчу кислотність мала бузинова карамель (10,8 град.), що узгоджується з найвищим pH бузинового ВОР (4,23) і найменшим вмістом вільних органічних кислот у плодах Sambucus nigra.

Масова частка редукуючих речовин становила 17,82–19,12 %. Найбільше їх містила бузинова карамель (19,12 %), що корелює з найвищим сумарним вмістом глюкози та фруктози в бузиновому збагаченому цукрі (0,47 %) і найінтенсивнішою інверсією сахарози під час теплового оброблення. Найменший вміст редукуючих речовин зафіксовано у калиновій карамелі (17,82 %), що відповідає найнижчому вмісту моноцукрів у калиновому збагаченому цукрі (0,09 %).

Таким чином, досліджені зразки натуральної льодяникової карамелі характеризувалися невисокою масовою часткою вологи, кислотністю, що закономірно узгоджується з pH вихідного ВОР, та вмістом редукуючих речовин, який корелює з початковим вуглеводним складом збагаченого цукру — що свідчить про стабільність і прогнозованість технологічного процесу.

5.2.3 Оптимізація технологічних параметрів виробництва карамелі на основі збагаченого цукру

Процес виробництва льодяникової карамелі на основі збагаченого цукру є багатофакторним і потребує системного підходу до визначення оптимальних технологічних параметрів. Вплив керуючих факторів на якість і біологічну цінність готового продукту досліджували методом математичного моделювання – методологією поверхні відгуку (Response Surface Methodology, RSM) на даних

повнофакторного експерименту (ПФЕ). Дисперсійно-регресійний аналіз та побудову математичних моделей здійснювали в програмному середовищі Statistica 10 (StatSoft, Inc., США). Зв’язки між вхідними та вихідними параметрами системи виробництва карамелі представлено у вигляді функціональної схеми.

Рис. 5.7 – Функціональна схема зв’язків у системі виробництва льодяникової карамелі

До керуючих (вхідних) факторів системи виробництва натуральної льодяникової карамелі віднесено:

− температуру карамелізації (t, °C);

− концентрацію відпрацьованого осмотованого розчину (C, %);

− вміст біологічно активних речовин (флавоноїдів) у відпрацьованому осмотованому розчині (B, мг/100 мл).

Встановлено контрольні (вихідні) параметри системи:

− КП1 – вміст вітаміну С у готовій карамелі (Y_1, мг/100 г);

− КП2 – органолептична оцінка готового продукту (Y_2, бал, шкала 1–5);

− КП3 – оцінка кольору готового продукту (Y_3, бал, шкала 1–5).

Збурювальними факторами, що не підлягають регулюванню, але впливають на якість продукту, є: якість вихідної сировини, відносна вологість повітря у виробничому приміщенні та точність технологічного обладнання.

Досліджувана математична модель виробництва льодяникової карамелі описується рівнянням другого порядку (5.1):

$$КП = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_2 \cdot X_2 + b_{22} \cdot X_2^2 + b_3 \cdot X_3 + b_{33} \cdot X_3^2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 \qquad (5.1)$$

де КП – контрольний параметр;

b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{13} – коефіцієнти регресії;

X_1, X_2, X_3 – кодовані значення температури, концентрації та вмісту БАР відповідно.

Для створення матриці планування ПФЕ 3^3 заплановано зміну трьох керуючих факторів на трьох рівнях (X_0, −X, +X).

Загальна кількість дослідів:

$$N = 3^n = 3^3 = 27 \qquad (5.2)$$

Рівні варіювання керуючих факторів наведено в табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Рівні варіювання керуючих факторів у системі виробництва льодяникової карамелі

Операція	**Позначення**	**Температура карамелізації t, °C**	**Концентрація осмотичного розчину C, %**	**Вміст БАР в осмотичному розчині B, мг/100 мл**
Інтервал варіювання	±Δ	15	10	12
Рівні:				
- нульовий	0	140	30	30
- нижній	−1	125	20	18
- верхній	+1	155	40	42

Матриця-план ПФЕ 3^3 та усереднені результати трьох повторів наведено в табл. 5.10.

Таблиця 5.10

Матриця-план ПФЕ та усереднені результати дослідження виробництва льодяникової карамелі

№ досліду	t, °С	С, %	В, мг/100 мл	Y_1 Вітамін С, мг/100 г	Y_2 Органолептична оцінка, бал	Y_3 Оцінка кольору, бал
1	125	20	18	0,243	3,7	3,6
2	125	20	30	0,303	3,9	4,0
3	125	20	42	0,363	3,7	4,2
4	125	30	18	0,283	4,1	3,9
5	125	30	30	0,343	4,3	4,2
6	125	30	42	0,403	4,1	4,5
7	125	40	18	0,323	3,9	3,6
8	125	40	30	0,383	4,1	4,0
9	125	40	42	0,443	3,9	4,2
10	140	20	18	0,190	4,0	3,9
11	140	20	30	0,240	4,2	4,2
12	140	20	42	0,290	4,0	4,5
13	140	30	18	0,230	4,4	4,1
14	140	30	30	0,280	4,6	4,5
15	140	30	42	0,330	4,4	4,7
16	140	40	18	0,270	4,2	3,9
17	140	40	30	0,320	4,4	4,2
18	140	40	42	0,370	4,2	4,5
19	155	20	18	0,143	3,4	3,4

20	155	20	30	0,183	3,6	3,8
21	155	20	42	0,223	3,4	4,0
22	155	30	18	0,183	3,8	3,7
23	155	30	30	0,223	4,0	4,1
24	155	30	42	0,263	3,8	4,3
25	155	40	18	0,223	3,6	3,4
26	155	40	30	0,263	3,8	3,8
27	155	40	42	0,303	3,6	4,0

Для уникнення систематичних помилок дотримувались принципу рандомізації – експерименти виконувались у випадковому порядку. Кожну лінійку дослідів повторювали тричі. На першому етапі математичної обробки результатів оцінено значущість регресорів та адекватність одержаних математичних моделей.

Дисперсійний аналіз наведено в табл. 5.11.

Таблиця 5.11

Дисперсійний аналіз математичних моделей виробництва натуральної льодяникової карамелі

Контрольний параметр	**Керуючий фактор**	**Сума квадратів, SS**	**Ступінь свободи, Df**	**Середнє значення квадрата, MS**	**$F_{розр.}$**	**$F_{крит.}$**
Y_1 – вміст вітаміну С, мг/100 г	Температура (X_1)	0,0412	2	0,0206	31,2	4,26
	Концентрація (X_2)	0,0123	2	0,0062	9,4	4,26
	Вміст БАР (X_3)	0,0161	2	0,0081	12,3	4,26

	Взаємодія $X_1 \cdot X_3$	0,0048	4	0,0012	1,8	2,87
	Чиста похибка	0,0132	20	0,0007	–	–
	Загальна сума SS	0,0876	26	–	–	–
	R^2	0,962	–	–	–	–
Y_2 – органо-лептична оцінка, бал	Температура (X_1)	3,241	2	1,621	22,8	4,26
	Концентрація (X_2)	1,007	2	0,504	7,1	4,26
	Вміст БАР (X_3)	0,819	2	0,410	5,8	4,26
Контрольний параметр	Керуючий фактор	Сума квадратів, SS	Ступінь свободи, Df	Середнє значення квадрата, MS	Fрозр.	Fкрит.
	Чиста похибка	1,421	20	0,071	–	–
	Загальна сума SS	6,488	26	–	–	–
	R^2	0,947	–	–	–	–
Y_3 – оцінка кольору, бал	Температура (X_1)	2,187	2	1,094	19,4	4,26
	Концентрація (X_2)	0,722	2	0,361	6,4	4,26

	Вміст БАР (X_3)	3,217	2	1,609	28,6	4,26
	Чиста похибка	1,127	20	0,056	–	–
	Загальна сума SS	7,253	26	–	–	–
	R^2	0,954	–	–	–	–

Дисперсійним аналізом підтверджено значущість усіх трьох керуючих факторів за критерієм Фішера ($F_{розр} > F_{крит} = 4,26$ при $df_1 = 2$, $df_2 = 20$, $p < 0,05$).

Температура карамелізації є найбільш значущим фактором для вмісту вітаміну С ($F_{розр} = 31,2$) та органолептичної оцінки ($F_{розр} = 22,8$), тоді як вміст БАР є домінуючим фактором для оцінки кольору ($F_{розр} = 28,6$). Значення $R^2 = 0,947–0,962$ підтверджують адекватність математичних моделей.

Регресійним аналізом у програмі Statistica 10 розраховано коефіцієнти рівнянь регресії (5.1) для кожного контрольного параметра у кодованих значеннях факторів:

$$Y_1 = 0,280 - 0,060 \cdot X_1 + 0,003 \cdot X_1^2 + 0,040 \cdot X_2 + 0,050 \cdot X_3 - 0,010 \cdot X_1 \cdot X_3 \qquad (5.3)$$

$$Y_2 = 4,600 - 0,150 \cdot X_1 + 0,100 \cdot X_2 - 0,400 \cdot X_1^2 - 0,300 \cdot X_2^2 - 0,200 \cdot X_3^2 \qquad (5.4)$$

$$Y_3 = 4,500 - 0,100 \cdot X_1 - 0,350 \cdot X_1^2 + 0,300 \cdot X_3 - 0,250 \cdot X_2^2 - 0,100 \cdot X_3^2 \qquad (5.5)$$

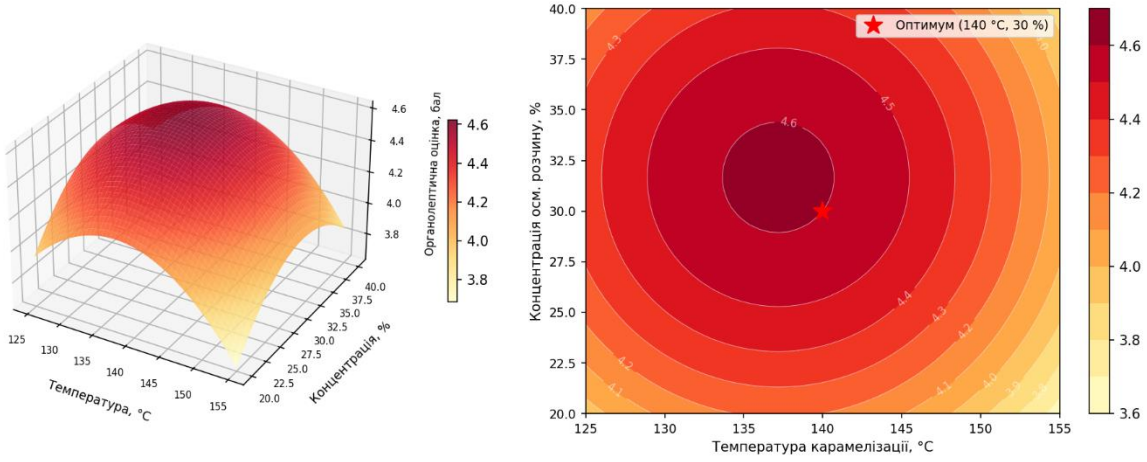
Від’ємний знак при коефіцієнті b_1 у рівняннях (5.3)–(5.5) підтверджує закономірне зниження вмісту вітаміну С та органолептичних показників з підвищенням температури карамелізації. Термодеструкція аскорбінової кислоти при

температурах понад 140 °С є значно більш інтенсивною, ніж при оптимальній температурі.

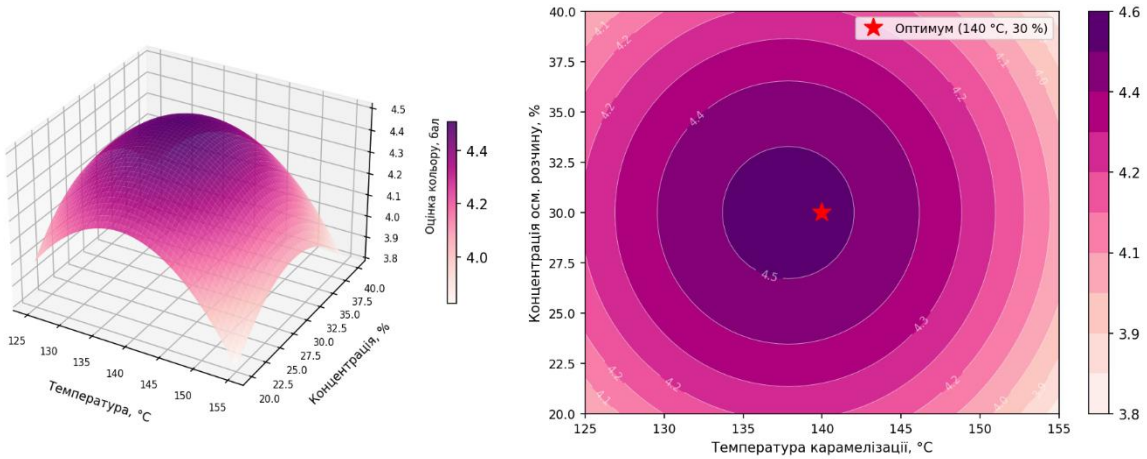
Квадратичні члени (b_{11}, b_{22}, b_{33}) з від'ємними знаками у рівнянні (5.4) підтверджують наявність чітко вираженого куполоподібного оптимуму для органолептичної оцінки при середніх рівнях усіх трьох факторів. Позитивний знак при b_3 у рівнянні (5.5) свідчить про пряму залежність між вмістом БАР у розчині та насиченістю кольору готової карамелі. Наочний вигляд функцій відгуків при фіксованому значенні вмісту БАР на оптимальному рівні (В=30 мг/100 мл) показано на рис. 5.8, при фіксованому значенні концентрації (С = 30 %) – на рис. 5.8.

Аналіз поверхонь відгуків (рис. 5.8 *а*) демонструє монотонне зниження вмісту вітаміну С зі збільшенням температури карамелізації: при підвищенні температури з 125 до 155 °С вміст аскорбінової кислоти знижується на 40–45 % внаслідок термоокиснювальної деструкції. Водночас збільшення концентрації відпрацьованого розчину позитивно впливає на вміст вітаміну С завдяки більшому насиченню рецептурного складу карамелі біологічно активними речовинами.

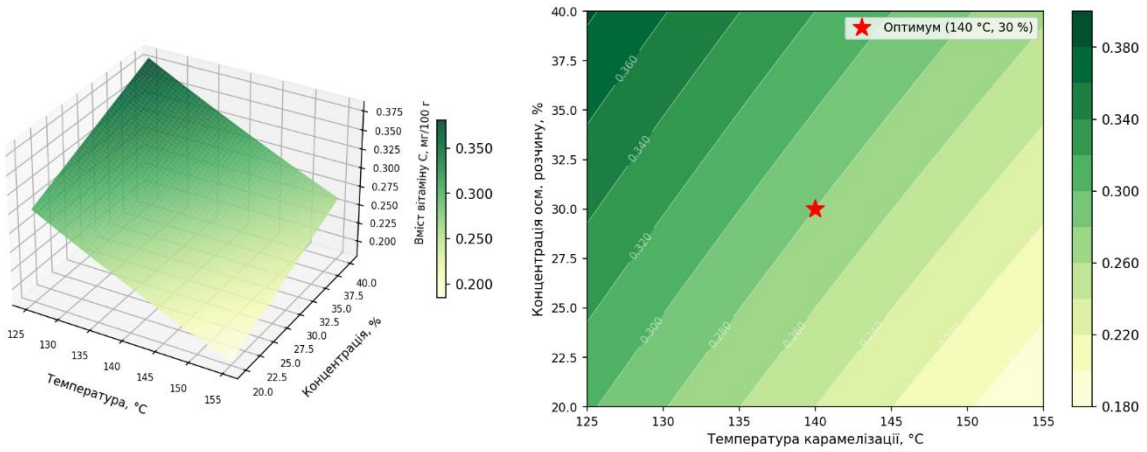
Поверхня відгуку для органолептичної оцінки (рис. 5.8 б) має виражений куполоподібний характер з максимумом при температурі 135–145 °С та концентрації розчину 28–33 %. При температурах нижче 130 °С карамельна маса не набуває необхідної твердості та прозорості, тоді як при температурах вище 150 °С відбувається надмірна карамелізація цукрози, що погіршує смак і аромат продукту.



а

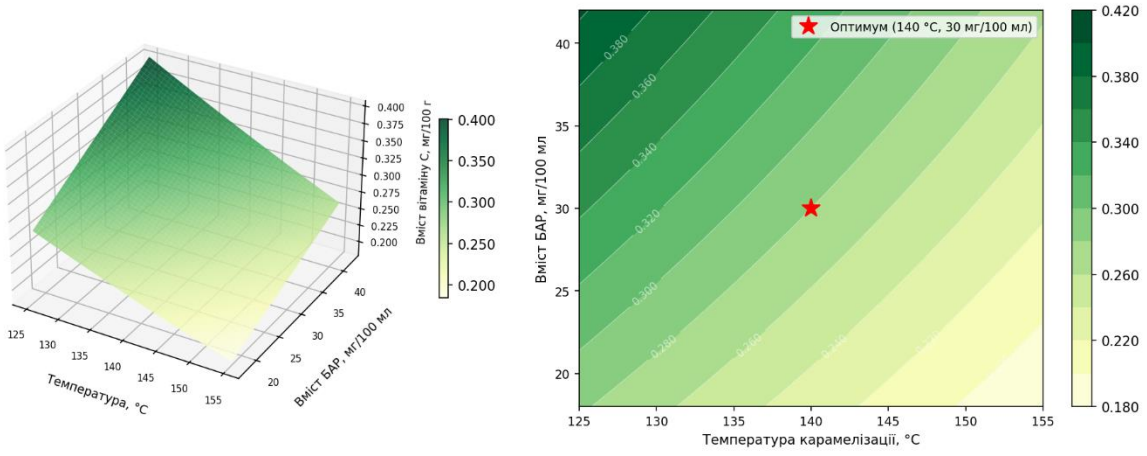


б

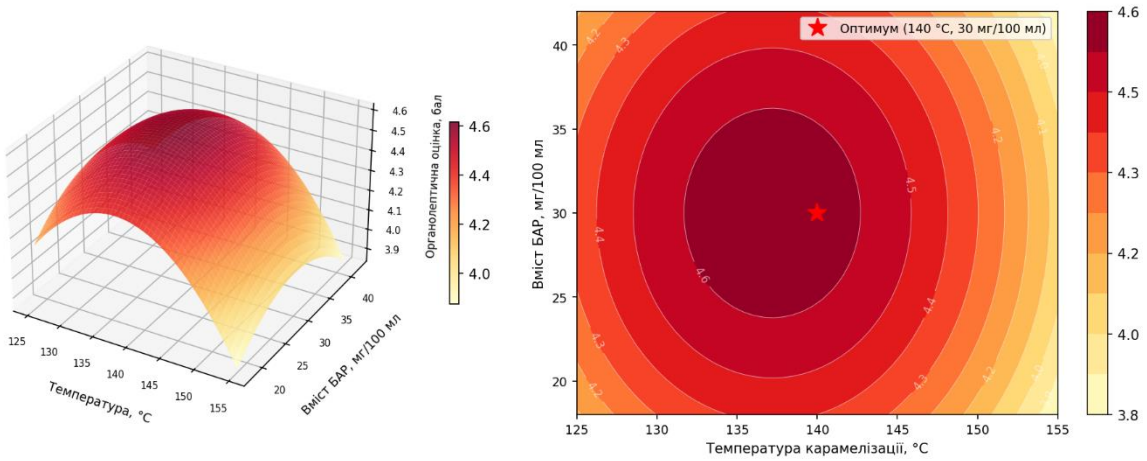


в

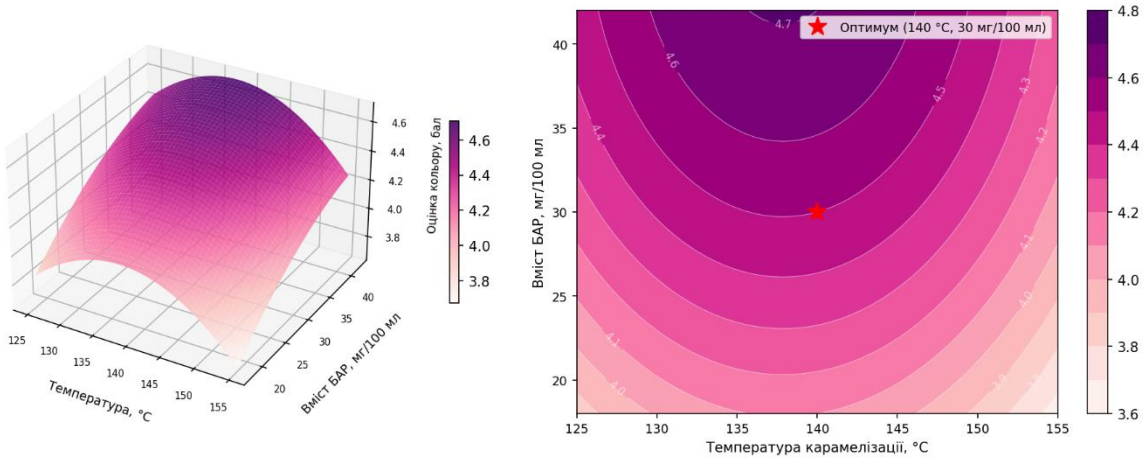
Рис. 5.8– Поверхні відгуків при фіксованому вмісті БАР (В = 30 мг/100 мл): *а* – вміст вітаміну С, мг/100 г; *б* – органолептична оцінка, бал; *в* – оцінка кольору, бал



а



б



в

Рис. 5.9 – Поверхні відгуків при фіксованій концентрації (С = 30 %): *а* – вміст вітаміну С, мг/100 г; *б* – органолептична оцінка, бал; *в* – оцінка кольору, бал

Оцінка кольору (рис. 5.9 *в*) зростає зі збільшенням концентрації відпрацьованого розчину завдяки вищому вмісту антоціанів і каротиноїдів.

Аналіз поверхонь відгуків у площині температура–вміст БАР (рис. 5.9) підтверджує, що вміст БАР у відпрацьованому розчині є ключовим фактором для формування кольору карамелі. Збільшення вмісту флавоноїдів з 18 до 42 мг/100 мл забезпечує підвищення оцінки кольору на 0,6–0,8 бали незалежно від температурного режиму. Для органолептичної оцінки (рис. 5.9 *б*) спостерігається оптимум при вмісті БАР 28–32 мг/100 мл, оскільки надмірно високий вміст флавоноїдів може надавати карамелі помітну гіркуватість.

Узагальнюючи результати дисперсійно-регресійного аналізу даних ПФЕ 3^3 методом поверхні відгуку, встановлено оптимальні параметри виробництва натуральної льодяникової карамелі:

− температура карамелізації – (135…145) °С, оптимум 140 °С;

− концентрація відпрацьованого розчину – 30 %;

− вміст БАР (флавоноїдів) у відпрацьованому розчині – 28–32 мг/100 мл, оптимум 30 мг/100 мл.

При оптимальних параметрах показники якості льодяникової карамелі становлять: вміст вітаміну С – 0,280 мг/100 г; органолептична оцінка – 4,6 бали; оцінка кольору – 4,5 бали (шкала 1–5). Значення функції бажаності Харрінгтона d = 0,871, що відповідає рівню «добре» (d ≥ 0,75) і підтверджує обґрунтованість обраного оптимуму.

Висновки до розділу 5

1. Розроблено систему HACCP для збагаченого цукру як нового виду продукту (7 принципів Codex Alimentarius, ДСТУ ISO 22000:2019). Ідентифіковано специфічні небезпеки: патулін (ГДК 50 мкг/кг за Регламентом ЄС № 1881/2006), пестициди, важкі метали, термофільна мікрофлора при ОД.
2. Матрицею ризиків (I×T) виявлено 1 критичний ризик (9 балів — пестициди в сировині) та 4 значних ризики (4–6 балів): Salmonella/БГКП при прийманні, t-режим ОД, вологість сушіння, МАФАМ готової продукції.
3. Визначено 7 ККТ: ККТ-1 (приймання плодів, МАФАМ ≤5×10^4 КУО/г), ККТ-2 (миття), ККТ-3 (заморожування, −18±2 °С), ККТ-4 (ОД, 50±5 °С, 60±5 хв, pH 3,5–5,0), ККТ-5 (змішування, ≤2 год), ККТ-6 (сушіння, W=0,10–0,14 %), ККТ-7 (готова продукція, МАФАМ ≤1×10^3 КУО/г). Розроблено 7 програм-передумов (PRP) за ДСТУ ISO/TS 22002-1:2019.
4. Розроблено технологію натуральної льодяникової карамелі: заміна 50 % цукрового сиропу відпрацьованим розчином, уварювання при 120±5 °С до СР ≥97 %,

охолодження до 88±5 °С, формування при 18±2 °С. Термін придатності — 9 місяців (18±3 °С, φ≤75 %).

5. Органолептична оцінка (ДСТУ 3893-2016, 4 дескриптори) — усі зразки відповідають нормі: колір від оранжевого (обліпихова) до темно-фіолетового (бузинова); поверхня без дефектів, окрім незначних сколів у бузиновій.
6. Фізико-хімічні показники карамелі: волога 2,36–2,57 % (норма ≤4,0 %), кислотність 10,8–13,2 град. (норма ≥10,0), редукуючі речовини 17,82–19,12 % (норма ≤20,0), сухі речовини 97,43–97,64 %. Найкращі показники — обліпихова карамель (найнижчі волога та РР).
7. Оптимізацію проведено методом RSM (ПФЕ 3^3, 27 дослідів, Statistica 10), R^2=0,947–0,962. Найзначущий фактор для вітаміну С і органолептики — температура (F=31,2 і 22,8), для кольору — вміст БАР (F=28,6, усі F>Fкрит=4,26).
8. Встановлено оптимум: t=140 °С, концентрація розчину 30 %, вміст БАР 30 мг/100 мл. За цих умов: вітамін С — 0,280 мг/100 г, органолептична оцінка — 4,6 бала, оцінка кольору — 4,5 бала, d Харрінгтона = 0,871 (рівень «добре», d≥0,75).
9. Підвищення t зі 125 до 155 °С знижує вітамін С на 40–45 % (термодеструкція); зростання БАР з 18 до 42 мг/100 мл підвищує оцінку кольору на 0,6–0,8 бала незалежно від температури; надлишок БАР (>32 мг/100 мл) погіршує органолептику через гіркуватість.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано роль цукру у харчуванні як джерела енергії та основного «транспортного засобу» для доставки мікронутрієнтів, а також систематизовано дані щодо обмеженого асортименту бурякового цукру в Україні порівняно зі світовими тенденціями функціональних цукропродуктів.

Обґрунтовано доцільність використання дикорослої ягідної сировини регіонального значення Сумської та суміжних областей (горобини звичайної, бузини чорної, калини звичайної, обліпихи крушиноподібної) як природного джерела вітамінів (С, Е, К), флавоноїдів, антоціанів, органічних кислот та амінокислот.

Науково обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність застосування ВОР — побічних продуктів осмотичної дегідратації (ОД) ягід — для збагачення цукру на принципах циркулярної економіки та «чистого маркування» (clean label).

Встановлено оптимальні параметри процесу ОД ягід: концентрація цукрового розчину — 70%, гідромодуль — 1:1, температура — 50°С, тривалість — 1год.

Досліджено органолептичні (високі оцінки 29–30 балів), фізико-хімічні (масова частка сухих речовин 65–72%), мікробіологічні показники та харчову цінність ВОР, доведено високу концентрацію нативних антоціанів, каротиноїдів, вітаміну С (максимум у калиновому розчині — 1,121мг/100 г та флавоноїдів (максимум у бузиновому розчині — 42,0мг/100 г).

Розроблено технологічну схему виробництва збагаченого цукру-піску та пресованого цукру шляхом внесення ВОР у кількості 10% до маси цукру.

Доведено, що ОД забезпечує ефективний перехід і збереження у збагаченому цукрі амінокислот (від 0,558 до 8,534 мг/100 г, зокрема незамінних — 0,123–3,688 мг/100 г), флавоноїдів (0,036–0,280 %), антоціанів (1,8–14 мг/100 г) та вітаміну С (0,045–0,172 мг/100 г).

Розроблено систему НАССР для виробництва збагаченого цукру як нового виду продукту, ідентифіковано специфічні небезпечні чинники (мікотоксин патулін, залишкові пестициди, важкі метали, ризики термофільної мікрофлори) та визначено 7 критичних контрольних точок.

Розроблено ресурсозберігаючу технологію натуральної льодяникової карамелі на основі збагаченого цукру.

Проведено оптимізацію технологічних параметрів виробництва карамелі методом математичного моделювання (RSM, повнофакторний експеримент 3^3) і визначено оптимальні значення: температура карамелізації — 135–145 °С (оптимум 140 °С), концентрація ВОР — 30 %,

Розроблено ТУ У 10.8-04718013-009:2023 «Цукор вітамінізований пресований»; технологію впроваджено на ТОВ «Радехівський цукор» (акт від 10.08.2023). Результати відображено у 15 наукових працях (3 Scopus, 3 фахових категорії «Б», 1 у виданні країни ЄС, 1 розділ монографії, 7 тез).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Губіч П. В., Захарова І. В. Харчова хімія та роль вуглеводів у харчуванні людини. *Харчова промисловість*. 2018. № 23. С. 45–52.
2. Дорохович А. М., Ковбаса В. М. Технології кондитерського виробництва та фізіологія харчування. Київ : Фітосоціоцентр, 2017. 320 с.
3. Корж А. П., Макаренко О. В. Фізико-хімічний аналіз цукристих речовин та оцінка їх якості. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Т. 25, № 4. С. 112–119.
4. Сирохман І. В., Задорожний І. М. Товарознавство цукру, меду, крохмалю та кондитерських виробів. Київ : ЦУЛ, 2016. 384 с.
5. Allen L., de Benoist B., Dary O., Hurrell R. Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva : World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. 341 p.
6. International Sugar Organization. Sugar Year Book 2023. London : ISO, 2023. 350 p.
7. OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. Paris : OECD Publishing, 2021. 336 p. https://doi.org/10.1787/19428017-en.
8. Asadi M. Beet-Sugar Handbook. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2007. 848 p.
9. Chen J. C. P., Chou C. C. Cane Sugar Handbook: A Manual for Cane Sugar Manufacturers and Their Chemists. 12th ed. New York : John Wiley & Sons, 1993. 1090 p.
10. Rein P. Cane Sugar Engineering. Berlin : Bartens, 2007. 768 p.
11. Clarke M. A. Selection and Specifications for Sugars in Food Processing. *Cereal Foods World*. 2003. Vol. 48, no. 4. P. 182–187.
12. Goldberg I. Functional Foods: Designer Foods, Pharmafoods, Enteric Foods. New York : Chapman & Hall, 1994. 570 p.
13. O'Donnell K., Kearsley M. W. Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology. 2nd ed. Ames : Wiley-Blackwell, 2012. 512 p.

14. Jaffe W. R. Non-centrifugal cane sugar (NCS) (panela, jaggery, gur, muscovado, gula melaka): A review. *Sugar Tech*. 2015. Vol. 17, no. 1. P. 1–6. https://doi.org/10.1007/s12355-014-0310-0.
15. Eggleston G. Positive aspects of cane sugar and sugar cane products in human nutrition. *Sugar Tech*. 2018. Vol. 20, no. 5. P. 505–512.
16. Solomon S. Sugar and Health: A Review of Current Scientific Evidence. *Journal of Food Science and Technology*. 2019. Vol. 56, no. 3. P. 1101–1112.
17. Velasquez F. J., Rodriguez J., Acevedo D. Physical and Chemical Properties of Panela Sugar. *Food and Bioprocess Technology*. 2019. Vol. 12, no. 8. P. 1320–1331.
18. Mathlouthi M., Reiser P. Sucrose: Properties and Applications. London : Blackie Academic & Professional, 1995. 294 p.
19. Pancoast H. M., Junk W. R. Handbook of Sugars. 2nd ed. Westport : AVI Publishing Company, 1980. 398 p.
20. Хомічак Л. М., Ярчук М. М. Стан та перспективи розвитку цукрової галузі України. *Цукор України*. 2020. № 5. С. 14–22.
21. Штангеєва Н. І., Крапивницький А. В. Асортиментна політика підприємств цукрової промисловості. *Харчові ресурси*. 2018. № 11. С. 78–85.
22. Бондар А. В. Інноваційні технології в цукровому виробництві. *Вісник Аграрної Науки*. 2021. № 3. С. 55–62.
23. Берлоч В. М., Кравченко Т. О. Виробництво органічної продукції в Україні: цукровий сектор. *Економіка АПК*. 2022. № 4. С. 34–41.
24. Власенко В. В. Використання спеціальних видів цукру в закладах ресторанного господарства. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*. 2020. Т. 3, № 1. С. 98–109.
25. Рахимов М. М., Хасанов Х. Т. Традиционные технологии получения традиционных сахаристых продуктов Средней Азии. *Химия растительного сырья*. 2017. № 2. С. 115–122.
26. Phaichamnan M., Posri W., Meenune M. Quality profile of palm sugar concentrate produced in Songkhla province, Thailand. *International Food Research Journal*. 2010. Vol. 17, no. 4. P. 1055–1062.

27. Asghar M. T., Yusof Y. A., Mokhtar M. N., Yaacob M. E., Mohd Ghazali H., Chang L. S., Manaf Y. N. Coconut (Cocos nucifera L.) sap as a potential source of sugar: Alternatives in sweetening and functional food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 97. P. 385–397.
28. Al-Farsi M. A., Lee C. Y. Nutritional and functional properties of date fruit processing by-products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2008. Vol. 48, no. 10. P. 877–887.
29. Stuckel J. G., Low N. H. The chemical composition of 80 pure maple syrups produced in North America. *Food Research International*. 1996. Vol. 29, no. 3-4. P. 373–379.
30. van den Berg A. K., Perkins T. D., Isselhardt M. L. Sugar profiles of maple syrup. *Maple Syrup Digest*. 2019. Vol. 31, no. 2. P. 12–19.
31. Muniz-Marquez D. B., Rodriguez-Ress R. M., Wong-Paz J. E., Belmares R., Garcia-Gomez R. E., Aguilar C. N. Agave syrup: Chemical composition and health benefits. *Food Research International*. 2018. Vol. 105. P. 752–760.
32. Willems J. L., Low N. H. Major and minor constituent analysis in authentic agave syrups. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012. Vol. 60, no. 35. P. 8716–8724.
33. Santos-Zea L., Leal-Diaz A. M., Cortes-Ceballos E., Gutierrez-Uribe J. A. Agave (Agave tequilana Weber var. Azul) stem extract and its bioactives. *Journal of Food Science*. 2012. Vol. 77, no. 8. P. C883–C890.
34. Regassa T. H., Wortmann C. S. Sweet sorghum as a bioenergy crop: Literature review. *Biomass and Bioenergy*. 2014. Vol. 64. P. 348–355.
35. Mooradian A. D., Smith M. M., Tokuda M. The role of artificial and natural sweeteners in reducing the consumption of simple sugars in human diet. *Clinical Nutrition*. 2017. Vol. 36, no. 1. P. 20–28.
36. Wu X., Zhao R., Bean S. R., Seib P. A., McLaren J. S., Madl R. L., Tuinstra M. R., Lenz M. C., Wang D. Factors impacting ethanol yield from grain sorghum in the dry-grind process. *Cereal Chemistry*. 2007. Vol. 84, no. 2. P. 130–136.

37. Zhang Y. H. P., Lynd L. R. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: Noncomplexed cellulase systems. *Biotechnology and Bioengineering*. 2004. Vol. 88, no. 7. P. 797–824.
38. Meinita M. D. N., Yong Y. S., Hong Y. K. Comparison of sulfuric and hydrochloric acids as catalysts for hydrolysis of Gracilaria verrucosa for bioethanol production. *Journal of Applied Phycology*. 2012. Vol. 24, no. 1. P. 123–128.
39. Bovell-Benjamin A. C. Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2007. Vol. 52. P. 1–59.
40. Salminen S., von Wright A., Ouwehand A. Lactic Acid Bacteria: Microbiological and Functional Aspects. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2011. 798 p.
41. Copikova J., Cvacka J., Kanisova M. Flavored sucrose crystals in Czech confectionery market. *Czech Journal of Food Sciences*. 2015. Vol. 33, no. 2. P. 145–150.
42. Schlichtherle-Cerny H., Affolter M. Aromatized sugars: production and applications in beverage industry. *Swiss Food Science Technology*. 2018. Vol. 24, no. 1. P. 55–62.
43. Tanaka K., Inoue T. Enrichment of beet sugar with minerals and trace elements. *Japanese Journal of Food Chemistry*. 2016. Vol. 23, no. 3. P. 210–217.
44. Dary O., Mora J. O. Food fortification to address micronutrient deficiencies: the case of Vitamin A fortification of sugar. *FASEB Journal*. 2002. Vol. 16, no. 4. P. A254–A255.
45. Dupuis C., Martin F. Technological approaches for colored and flavored sugars using natural extracts. *French Journal of Food Process Engineering*. 2017. Vol. 41, no. 2. P. 89–96.
46. Arroyave G. The program of fortification of sugar with vitamin A in Guatemala. *Journal of Food Science and Nutrition*. 1979. Vol. 32, no. 1. P. 24–31.
47. Ghosh S., Sharma S. Technological challenges in fortification of mass-consumed commodities with natural botanicals. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 110. P. 450–461.
48. Park S. J., Kim J. Y. Development of functional sugar products containing marine algae extracts. *Journal of Applied Phycology*. 2020. Vol. 32, no. 5. P. 3411–3419.

49. Liu X., Wang Z., Li Y. Processing and quality characteristics of ginger brown sugar. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. Vol. 43, no. 9. art. e14088.
50. Оболкіна Г. В., Пересічний М. І. Збагачення цукрових систем фітопорошками та оцінка їх розчинності. *Харчова наука і технологія*. 2015. Т. 9, № 3. С. 60–67.
51. Дорохович В. В., Яшовська О. А. Наукове обґрунтування технології збагачення цукру-піску біологічно активними речовинами рослинної сировини. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2018. Вип. 37. С. 102–111.
52. Сирохман І. В., Лозова Т. М. Використання екстрактів дикорослої сировини у виготовленні гранульованого цукру. *Товарознавчий вісник*. 2019. Т. 1, № 12. С. 135–144.
53. Smith T. R., Davies M. G. Mineral impregnation of sucrose crystals for athletic applications: solubility and organoleptic limits. *Journal of Sports Nutrition*. 2014. Vol. 18, no. 2. P. 215–223.
54. Sutrisno A., Purwanto E. Technology for producing fortified sugar from mango pulp. *Indonesian Journal of Agricultural Research*. 2021. Vol. 4, no. 1. P. 45–56.
55. Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. Food Chemistry. 4th ed. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2009. 1070 p.
56. Otles S. Handbook of Food Analysis Instruments. Boca Raton : CRC Press, 2016. 526 p.
57. Damodaran S., Parkin K. L. Fennema's Food Chemistry. 5th ed. Boca Raton : CRC Press, 2017. 1107 p.
58. Sun-Waterhouse D. The development of functional foods using plant food processing by-products. *Food and Bioprocess Technology*. 2011. Vol. 4, no. 4. P. 432–449.
59. Грищенко О. В., Кузнецова Т. М. Біологічно активні речовини дикорослих ягід України та їх застосування. *Український ботанічний журнал*. 2020. Т. 77, № 2. С. 145–156.
60. Барабой В. А. Фенольные соединения растительного мира и их антиоксидантная активность. *Український біохімічний журнал*. 2006. Т. 78, № 5. С. 35–47.
61. Макаренко О. А., Левицький А. П. Фізіологічні функції флавоноїдів у рослин і тварин. *Фізіологічний журнал*. 2007. Т. 53, № 5. С. 102–111.

62. Паска М. З., Радзиєвська І. Г. Використання дикорослих плодів та ягід у технологіях функціональних продуктів. *Харчові ресурси*. 2019. № 13. С. 89–97.
63. Самсонова А. Н., Ушева В. Б. Фруктовые и овощные соки. Москва : Пищевая промышленность, 1990. 287 с.
64. Ercisli S. Chemical composition of fruits in some Sorbus species. *Economic Botany*. 2004. Vol. 58, no. 2. P. 282–285.
65. Hukkanen A. T., Polonen S. S., Karenlampi S. O., Kokko H. I. Antioxidant capacity and phenolic compounds in berries of Sorbus aucuparia L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. Vol. 54, no. 1. P. 112–119.
66. Olszewska M. A. Quantitative determination of flavonoids and chlorogenic acid in Sorbus aucuparia L. *Acta Poloniae Pharmaceutica - Drug Research*. 2011. Vol. 68, no. 6. P. 953–959.
67. Bobinaite R., Pataro G., Lamanauskas N., Satkauskas S., Viskelis P., Ferrari G. Application of pulsed electric field in the production of juice and extraction of bioactive compounds from rowanberries (Sorbus aucuparia L.). *Food and Bioprocess Technology*. 2015. Vol. 8, no. 4. P. 858–867.
68. Mlynarczyk K., Walkowiak-Tomczak D., Lysiak G. P. Bioactive properties of Sambucus nigra L. as a functional ingredient for food and pharmaceutical industry. *Journal of Functional Foods*. 2018. Vol. 40. P. 377–390.
69. Sidor A., Gramza-Michalowska A. Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (Sambucus nigra) in food – a review. *Journal of Functional Foods*. 2015. Vol. 18. P. 941–958.
70. Dawidowicz A. L., Wianowska D., Baraniak B. The antioxidant properties of alcoholic extracts from Sambucus nigra L. berries. *LWT - Food Science and Technology*. 2006. Vol. 39, no. 3. P. 308–315.
71. Porter R. S., Bode R. F. A review of the antiviral properties of Black Elderberry (Sambucus nigra L.) products. *Phytotherapy Research*. 2017. Vol. 31, no. 4. P. 533–554.
72. Tiralongo E., Wee S. S., Lea R. A. Elderberry supplementation reduces cold duration and symptoms in air-travellers: A randomized, double-blind placebo-controlled

clinical trial. *Nutrients*. 2016. Vol. 8, no. 4. art. 182. https://doi.org/10.3390/nu8040182.

73. Viapiana A., Wesolowski M. The phenolic contents and antioxidant activities of infusions of Sambucus nigra L. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2017. Vol. 72, no. 1. P. 82–87.
74. Kraujalyte V., Leitner E., Venskutonis P. R. Chemical and phytochemical composition of Viburnum opulus L. fruits. *Food Chemistry*. 2013. Vol. 141, no. 3. P. 2223–2230.
75. Cesoniene L., Daubaras R., Viskelis P., Sarkinas A. Determination of the total phenolic and anthocyanin contents and antimicrobial activity of Viburnum opulus fruit extracts. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2012. Vol. 67, no. 3. P. 256–261.
76. Rop O., Reznicek V., Mlcek J., Jurikova T., Balik J., Sochor J., Szekeresova M. Antioxidant activity of guelder rose (Viburnum opulus L. var. edule) fruits. *Molecules*. 2010. Vol. 15, no. 3. P. 1370–1381.
77. Baranowska G. P., Radziejewska M. Utilization of Viburnum opulus fruits in functional food technology. *European Food Research and Technology*. 2018. Vol. 244, no. 6. P. 1015–1024.
78. Zeb A. Chemical and nutritional constituents of sea buckthorn juice. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2004. Vol. 3, no. 2. P. 99–106.
79. Ciesarova Z., Murkovic M., Cejpek K., Kreps F., Tobolkova B., Koplik R., Belajova E., Kukurova K., Dasko L., Panovska Z., Revlochova Z., Saxon Z. Why is sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) so exceptional? *Food Research International*. 2020. Vol. 133. art. 109170.
80. Suryakumar G., Gupta A. Medicinal and therapeutic potential of Sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.). *Journal of Ethnopharmacology*. 2011. Vol. 138, no. 2. P. 268–278.
81. Beveridge T., Li T. S. C., Oomah B. D., Smith A. Sea buckthorn products: manufacture and composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1999. Vol. 47, no. 9. P. 3480–3488.

82. Bal L. M., Meda V., Naik S. N., Satya S. Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for functional foods and nutraceuticals. *Food Research International*. 2011. Vol. 44, no. 7. P. 1718–1727.
83. Christaki E. Hippophae rhamnoides L. (Sea Buckthorn): a potential source of nutraceuticals. *Food and Public Health*. 2012. Vol. 2, no. 3. P. 69–72.
84. Guo R., Guo X., Li T., Fu X., Liu R. H. Comparative study of phytochemical profiles and antioxidant activities of sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) berries of different varieties in China. *Food Chemistry*. 2017. Vol. 221. P. 997–1003.
85. Olas B. The beneficial health aspects of sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) fruits in cardiovascular diseases. *Planta Medica*. 2018. Vol. 84, no. 7. P. 470–477.
86. Ткач В. П., Мельник Є. В. Лісосировинний потенціал побічного лісокористування Північно-Східного регіону України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2019. Вип. 134. С. 12–20.
87. Демидов В. М., Ковальов О. В. Ресурсний потенціал дикорослих ягід Сумської області та шляхи його раціонального використання. *Вісник СНАУ. Серія: Агрономія і біологія*. 2021. Т. 42, № 1. С. 89–96.
88. Мельник Т. І., Чернявський М. В. Лісові ресурси дикорослих плодів та ягід Сумщини. *Український лісотехнічний журнал*. 2020. Т. 30, № 4. С. 45–51.
89. Rastogi N. K., Raghavarao K. S. M. S., Niranjan K., Knorr D. Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*. 2002. Vol. 13, no. 2. P. 48–59.
90. Torreggiani D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*. 1993. Vol. 26, no. 1. P. 59–68.
91. Yadav A. K., Singh S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2014. Vol. 51, no. 9. P. 1654–1673.
92. Ciurzynska A., Kowalska H., Czajkowska K., Lenart A. Effect of osmotic dehydration on bioactive compounds content and antioxidant activity of fruit. *Trends in Food Science & Technology*. 2016. Vol. 50. P. 14–24.
93. Kowalska H., Marzec A., Kowalska J., Ciurzynska A., Galus S., Cavoski I. Osmotic dehydration of fruit and vegetables as a technology with high potential for

development of functional foods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2023. Vol. 158. art. 116895.

94. Ahmed I., Qazi I. M., Jamal S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2016. Vol. 34. P. 29–43.
95. Phisut N. Factors affecting the osmotic dehydration process of fruits and vegetables: a review. *International Food Research Journal*. 2012. Vol. 19, no. 1. P. 7–18.
96. Tortoe C. Review of the application of osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2010. Vol. 50, no. 4. P. 303–316.
97. Moraga M. J., Talens P., Moraga G., Martinez-Navarrete N. Impregnation of bioactive compounds into fruit matrices using osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*. 2011. Vol. 104, no. 1. P. 121–127.
98. Veberic R., Jakopic J., Stampar F., Schmitzer V. European elderberry (Sambucus nigra L.) rich in health-promoting compounds. *Food Chemistry*. 2009. Vol. 114, no. 2. P. 511–515.
99. Blando F., Gerardi C., Nicoletti I. Sour cherry (Prunus cerasus L.) anthocyanins as ingredients for functional foods. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. 2004. Vol. 2004, no. 5. P. 253–258.
100. Martins N., Roriz C. L., Morales P., Barros L., Ferreira I. C. F. R. Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and safety. *Trends in Food Science & Technology*. 2016. Vol. 52. P. 1–15.
101. Rodriguez-Amaya D. B. Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*. 2016. Vol. 7. P. 20–26.
102. van Boekel M. A. J. S. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances*. 2006. Vol. 24, no. 2. P. 230–233.
103. Hodge J. E. Dehydrated Foods, Chemistry of Browning Reactions in Model Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1953. Vol. 1, no. 15. P. 928–943.

104. Kroh L. W. Caramelisation in food and model systems. *Food Chemistry*. 1994. Vol. 51, no. 4. P. 373–379.

105. Tomasik P., Schilling C. H. Chemical and physical aspects of caramelization. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*. 1998. Vol. 53. P. 263–326.

106. International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA). Methods Book. Berlin : Bartens, 2022. 450 p.

107. Mortensen A. Carotenoids and other biological pigments as natural colorants. *Pure and Applied Chemistry*. 2006. Vol. 78, no. 8. P. 1477–1491.

108. AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st ed. Rockville : AOAC International, 2019. 3174 p.

109. ISO 20633:2015. Infant formula and adult nutritionals – Determination of vitamin C by high performance liquid chromatography (HPLC). Geneva : International Organization for Standardization, 2015. 12 p.

110. Ignat I., Volf I., Popa V. I. A critical review of methods for characterisation of polyphenols in fruits and vegetables. *Food Chemistry*. 2011. Vol. 126, no. 4. P. 1821–1835.

111. Myers R. H., Montgomery D. C., Anderson-Cook C. M. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 4th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2016. 856 p.

112. Harrington E. C. The desirable function. *Industrial Quality Control*. 1965. Vol. 21, no. 10. P. 494–498.

113. FAO/WHO. Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Application. Annex to CAC/RCP 1-1969. Rev. 4. Rome : FAO/WHO, 2003. 32 p.

114. ISO 22000:2018. Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain. Geneva : International Organization for Standardization, 2018. 38 p.

115. Mortimore S., Wallace C. HACCP: A Practical Approach. 3rd ed. New York : Springer, 2013. 418 p.

116. Sperber W. H., Stier R. F. Happy 50th Birthday to HACCP: Retrospective and Prospective. *Food Protection Trends*. 2009. Vol. 29, no. 11. P. 858–870.

117. Mossel D. A. A., Corry J. E. L., Struijk C. B., Baird R. M. Essentials of the Microbiology of Foods: A Student's Site and Laboratory Guide. Chichester : John Wiley & Sons, 1995. 694 p.

118. Pitt J. I., Hocking A. D. Fungi and Food Spoilage. 3rd ed. New York : Springer, 2009. 519 p.

119. Jackson L. S., Al-Taher F. Effects of thermal processing on mycotoxins in food. *Adv. Exp. Med. Biol*. 2008. Vol. 607. P. 169–180.

120. Erkmen O., Bozoglu T. F. Food Microbiology: Principles into Practice. Chichester : John Wiley & Sons, 2016. 448 p.

121. Lees R., Jackson E. B. Sugar Confectionery and Chocolate Manufacture. London : Springer, 1973. 379 p.

122. Hartel R. W. Crystallization in Foods. Gaithersburg : Aspen Publishers, 2001. 505 p.

123. Ergun R., Lietha R., Hartel R. W. Moisture ingress in hard candy. *Journal of Food Science*. 2010. Vol. 75, no. 7. P. E441–E448.

124. Jeffery M. S. Key functional properties of sucrose in confectionery products. *The Manufacturing Confectioner*. 1993. Vol. 73, no. 11. P. 85–90.

125. Edwards W. P. The Science of Bakery Products. Cambridge : Royal Society of Chemistry, 2007. 272 p.

126. Jackson E. B. Sugar Confectionery Manufacture. 2nd ed. Glasgow : Blackie Academic & Professional, 1995. 392 p.

127. Beckett S. T. Industrial Chocolate Manufacture and Use. 4th ed. Oxford : Wiley-Blackwell, 2009. 720 p.

128. ДСТУ 4623:2023. Цукор. Технічні умови (із Поправкою № 1). [На заміну ДСТУ 4623:2006 ; чинний від 2023-11-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 24 с.

129. ДСТУ 2316-93 (ГОСТ 21-94). Цукор-пісок. Технічні умови. На заміну ГОСТ 21-78 ; чинний від 1994-01-01. Київ : Держстандарт України, 1994. 18 с.

130. ДСТУ 4872:2007. Цукор пресований. Технічні умови. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 16 с.

131. ДСТУ 3893-2016 «Вироби кондитерські. Карамель». Загальні технічні умови. [Чинний від 2016-07-01]. Київ : Держстандарт України, 2000. 18 с.

132. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання. [На заміну ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 ; чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.

133. ДСТУ ISO 22000:2019 (ISO 22000:2018, IDT). Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій в харчовому ланцюгу. [На заміну ДСТУ ISO 22000:2007 ; чинний від 2019-10-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 34 с.

134. ТУ У 10.8-04718013-009:2023. Цукор вітамінізований пресований. Технічні умови. [Вперше ; чинний від 2023-08-10]. Радехів : ТОВ «Радехівський цукор», 2023. 24 с.

135. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» від 23.12.1997 р. № 771/97-ВР (у редакції Закону України від 22.07.2014 р. № 1602-VII). *Відомості Верховної Ради України*. 2014. № 41-42. Ст. 2024.

136. Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії» від 03.09.2017 р. № 1073. *Офіційний вісник України*. 2017. № 82. Ст. 2526.

ДКПП 10.81 УКНД 67.180

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Сумського національного аграрного університету

_____ Володимир ЛАДИКА

«09» 11 2023 р.

ЦУКОР ВІТАМІНІЗОВАНИЙ ПРЕСОВАНИЙ

Технічні умови

ТУ У 10.8-04718013-009:2023

Уведено вперше

Дата надання чинності 10.11.2023

Чинні до 10.11.2028

РОЗРОБЛЕНО

Провідний науковий співробітник СНАУ, к.т.н., доцент

_____ Марина САМЛИК

«__» _____ 2023 р.

Старший науковий співробітник СНАУ, к.т.н., доцент

_____ Анна ГЕЛІХ

«09» 11 2023 р.

Аспірантка кафедри технологій та безпечності харчових продуктів СНАУ

_____ Дар'я Корніенко

«09» 11 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"СУМСЬКИЙ РЕГІОНАЛЬНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ"
ДП "СУМИСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ"
Ідентифікаційний код 02568064
ПЕРЕВІРЕНО
на відповідність законодавству України
«10» листопада 2023 р.
Внесено до книги обліку за № 02568064/002551

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«РАДЕХІВСЬКИЙ ЦУКОР»

LIMITED LIABILITY COMPANY
«RADEKHIVSKIY SUGAR»

АКТ

виробки дослідно-промислової партії вітамінізованого пресованого цукру

Цим актом підтверджується, впровадження результатів роботи виконаних у межах

Науково-технічної роботи за державним замовленням:	Розроблення технологій комплексної переробки рослинної сировини на харчові продукти
Номер державної реєстрації:	0 1 2 2 U 2 0 0 8 6 6
Науково-технічна робота за державним замовленням виконується на кафедрі:	Технологій та безпечності харчових продуктів Сумського національного аграрного університету
Дата виконання пробної випічки:	«10» серпня 2023 р
Вид впроваджених результатів	Вітамінізований пресований цукор
Характеристика масштабу впровадження	дослідна партія (20 кг)
Форма впровадження	**випуск на підприємстві**
Новизна результатів науково-технічної роботи	нові результати досліджень, використання нової сировини, розроблено нову технологію, продукція випускається вперше
Впроваджені на основі нормативно-технічної документації	ТІ 014-04718013-007.2023 Технологічна інструкція з виготовлення вітамінізованого пресованого цукру

Головний технолог
Олена Терещук
«10» серпня 2023 р.
Головний інженер
Михайло Ткачук
«10» серпня 2023 р.