

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут(факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій**  
**Кафедра технології цукру і підготовки води**

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту(декан факультету)  
Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО  
(підпис) (ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

**«До захисту допущено»**  
В.о. завідувача кафедри  
Інна КАРПОВИЧ  
(підпис) (ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**  
зі спеціальності 181 «Харчові технології»  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки  
води у промислових та крафтових виробництвах»  
на тему: Удосконалення технології цукру зі збагаченим вуглеводним та  
мінеральним складом

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЦВ-2-11М  
Шпак Назарій Ігорович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Гусятинська Наталія Альфредівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент Юрій РЕЗНИЧЕНКО  
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2025 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології цукру і підготовки води

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах»

(назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ТЦ і ПВ

Інна КАРПОВИЧ

“10” ЖОВТНЯ 2025 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Шпака Назарія Ігоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології цукру зі збагаченим вуглеводним та мінеральним складом

керівник роботи Гусятинська Наталія Альфредівна, професор,

доктор технічних наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 10.10.2025 року № 832-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 5 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи технологія насичення білого цукру інвертними сиропами відтоків кристалізації; ферментативний гідроліз сахарози; фізико-хімічні та органолептичні показники збагаченого цукру

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, об'єкти та методи досліджень, експериментальна частина, менеджмент якості та безпечності виробництва цукру, екологічні економічні та соціальні аспекти дослідження в контексті забезпечення сталого розвитку України, загальні висновки та рекомендації, додатки

5. Перелік графічного матеріалу принципова технологічна схема виробництва коричневого збагаченого цукру, графіки вмісту макроелементів та мікроелементів у коричневих цукрах насичених відтоками кристалізації, порівняльні діаграми вмісту біологічно активних речовин у збагачених цукрах залежно від виду сировини, графіки залежності кольоровості та зольності від параметрів насичення, таблиці відповідності продукту вимогам стандарту Codex Alimentarius CXS 212-1999

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання, затвердження теми та складання плану роботи	10.10.2025	Виконано
2	Опрацювання літературних джерел та нормативної бази (Розділ 1)	02.11.2025	Виконано
3	Обґрунтування методики досліджень, підготовка реактивів та обладнання (Розділ 2)	10.11.2025	Виконано
4	Проведення експериментальних досліджень впливу параметрів екстрагування цукру (Розділ 3)	22.11.2025	Експеримент завершено
5	Математичне оброблення даних, оптимізація	01.12.2025	Побудовано модель
6	Розробка системи менеджменту якості та безпечності екстрагування цукру (НАССР) (Розділ 4)	03.12.2025	Визначено ККТ
7	Обґрунтування екологічних та економічних аспектів роботи (Розділ 5)	05.12.2025	Розраховано ефективність
8	Узагальнення результатів, формулювання висновків, оформлення пояснювальної записки	10-11.12.2025	Перевірка керівником
9	Перевірка на плагіат, нормоконтроль та попередній захист на кафедрі	12.12.2025	Допущено до захисту
10	Підготовка презентаційних матеріалів та захист роботи в ЕК	15.12.2025	За графіком ЕК

**Здобувач**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Назарій ШПАК**

\_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Наталія ГУСЯТИНСЬКА**

\_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Розрахунково-пояснювальна записка до дипломної роботи містить 80 сторінок, 11 рисунків, 36 таблиць, 55 літературних джерел та 6 додатків.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження технології отримання білого цукру, збагаченого корисними речовинами, з використанням побічних продуктів цукрового виробництва.

Проаналізовано сучасні тенденції споживання та виробництва цукру на світовому та вітчизняному ринках. Обґрунтовано доцільність збагачення білого цукру вітамінами, мінеральними речовинами та амінокислотами шляхом використання відтоків першої та другої кристалізації, меляси та їх інвертних сиропів. Досліджено вплив збагачення на фізико-хімічні та органолептичні властивості кінцевого продукту.

Здійснено аналіз та ідентифікацію небезпечних чинників у технологічному процесі виробництва цукру відповідно до системи управління безпекою НАССР. Визначено екологічні, економічні та соціальні аспекти виробництва збагаченого цукру.

Ключові слова: цукор білий, збагачення, відтоки кристалізації, меляса, інвертний сироп, біологічна цінність, ферментативний гідроліз.

## SUMMARY

The diploma thesis explanatory note comprises 80 pages, 11 figures, 36 tables, 55 references, and 6 appendices.

The objective of this work is to provide theoretical substantiation and experimental validation of a technology for producing white sugar enriched with beneficial substances using by-products of sugar manufacturing.

Current trends in sugar consumption and production in both global and domestic markets have been analysed. The feasibility of enriching white sugar with vitamins, minerals, and amino acids through the utilisation of first and second crystallisation run-offs, molasses, and their invert syrups has been substantiated. The effects of enrichment on the physicochemical and organoleptic properties of the final product have been investigated.

Hazard analysis and identification within the sugar production process have been conducted in accordance with the HACCP food safety management system. The environmental, economic, and social aspects of enriched sugar production have been evaluated.

**Keywords:** white sugar, enrichment, crystallisation run-off, molasses, invert syrup, biological value, enzymatic hydrolysis.

Вступ.....	8
Розділ 1. Проблема харчової цінності цукру в контексті сучасних тенденцій харчування.....	10
1.1. Світові тренди в споживанні та виробництві цукру.....	10
1.2. Аналіз технологій одержання збагаченого цукру.....	13
Висновки до розділу 1.....	18
Розділ 2. Об'єкти і методи наукового дослідження.....	20
2.1. Характеристика сировини та предметів дослідження.....	20
2.2. Загальна характеристика методів та методик досліджень.....	23
2.3. Методика проведення ферментативного гідролізу.....	25
2.4. Методика проведення досліджень з використанням плану експерименту.....	26
Висновки до розділу 2.....	29
Розділ 3. Аналіз технологічних параметрів одержання цукру збагаченого складу.....	30
3.1. Застосування кристалізаційного відтоку 3 продукту (меляси).....	30
3.2. Застосування відтоку I кристалізації.....	33
3.3. Використання ферментативного гідролізу у створенні збагаченого коричневого цукру.....	36
3.4. Технологічні характеристики коричневого збагаченого цукру при використанні гідролізованого кристалізаційного відтоку I продукту.....	36
3.5. Дослідження технологічних параметрів одержання коричневого пресованого цукру збагаченого гідролізованими відтоками II кристалізації.....	40
3.6. Порівняльний аналіз складу коричневого цукру, одержанного за різними способами.....	46
3.6.1. Порівняння вмісту біологічно активних речовин у насичених кристалізаційними відтоками коричневих цукрах.....	46
3.6.2. Порівняння насичених кристалізаційними відтоками коричневих цукрів за органолептичними та фізичними характеристиками.....	49
3.6.3. Відповідність отриманого продукту міжнародним стандартам.....	50
3.7. Оптимізація процесу створення коричневого цукру шляхом використання гідролізованих відтоків I та II кристалізації.....	51
3.7.1. Використання повністю гідролізованих (90%) відтоків II.....	

кристалізації .....	52
3.8. Розроблення апаратурно-технологічної схеми .....	53
Висновки до розділу 3 .....	57
Розділ 4. Управління якістю та безпечністю цукру .....	58
4.1. Загальні підходи до управління якістю та безпечністю харчової продукції (цукру).....	58
4.2. Аналіз показників якості та готової продукції у виробництві цукру	61
4.2.1. Характеристика сировини .....	61
4.2.2. Технологічна схема виробництва .....	62
4.3. Аналіз факторів ризику та визначення критичних контрольних точок.	65
Висновки до розділу 4.....	69
Розділ 5. Екологічні, економічні та соціальні аспекти дослідження технології цукру в контексті забезпечення сталого розвитку України .....	71
5.1. Економічна ефективність розробки та її соціальне значення .....	71
5.2. Основні техніко-економічні показники .....	73
5.3. Екологічні аспекти виробництва та шляхи їх вирішення .....	73
Висновки до розділу 5.....	74
Загальні висновки і рекомендації.....	75
Список використаної літератури.....	77
Додатки.....	81

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БАР – біологічно активні речовини;

ДСТУ – державний стандарт України;

ККТ – критична контрольна точка;

КУО – колонієутворюючі одиниці;

НАССР (НАССР) – система управління безпечністю харчових продуктів (Hazard Analysis and Critical Control Points);

НУХТ – Національний університет харчових технологій;

од. – одиниці;

РР – редукуючі речовини;

СР – сухі речовини;

Codex Alimentarius – міжнародний збірник харчових стандартів;

CXS – стандарт Комісії Кодекс Аліментаріус (Codex Standard);

ICUMSA – Міжнародна комісія з уніфікації методів аналізу цукру (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis);

ISO – Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization);

pH – показник кислотності;

## ВСТУП

Виробництво цукру та цукровмісних продуктів є стратегічно важливою галуззю вітчизняної харчової промисловості. Цукрове виробництво грає значну роль у забезпеченні продовольчої безпеки держави, та слугує сировинною базою для кондитерської, хлібопекарської, фармацевтичної та суміжних галузей.

Разом з цим, розвиток сучасної харчової промисловості вимагає створення нових технологічних рішень, спрямованих на підвищення біологічної цінності харчових продуктів та розширення їх асортименту.

Білий цукор внаслідок рафінації втрачає майже всі мікроелементи, вітаміни та біологічно активні речовини, що присутні в рослинній сировині. Науковці звертають увагу на пов'язаний з рафінованим цукром "харчовий парадокс": зростання споживання цукру супроводжується зниженням загальної якості харчування населення через витіснення з раціону більш поживних продуктів завдяки високій енергетичній цінності цукру [51].

Тому одним із актуальних напрямків досліджень в сфері технології цукру є збагачення білого цукру корисними речовинами – побічними продуктами цукрового виробництва, що не лише покращує його біологічну цінність, але й сприяє раціональному використанню сировинних ресурсів.

Перспективним інноваційним напрямом у сфері виробництва цукру є використання продуктів першої кристалізації, другої кристалізації, меляси та їх похідних задля підвищення харчової цінності цукру, насичення його вітамінами, амінокислотами та мінералами (калієм, магнієм, кальцієм, залізом).

*Завдання даного наукового дослідження є дослідження можливості одержання коричневих цукрів з додаванням відтоків побічних продуктів виробництва та проаналізувати вплив такого насичення на фізико-хімічні та органолептичні властивості готового продукту.*

*Об'єктом дослідження є технологія одержання цукру з цукрових буряків.*

*Предметом дослідження є технологічний процес одержання цукру збагаченого біологічно активними речовинами; цукор білий, ферментативний гідроліз відтоків першої та другої кристалізації.*

*Методи дослідження.* У роботі застосовано комплекс фізико-хімічних та органолептичних методів дослідження. Визначення вмісту сухих речовин здійснювали рефрактометричним методом. Кислотність досліджуваних зразків встановлювали титриметричним методом. Кольоровість цукру та цукровмісних розчинів визначали фотоколориметричним методом.

Органолептичну оцінку зразків збагаченого цукру проводили за стандартною методикою з визначенням кольору, смаку, запаху та зовнішнього вигляду. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали з використанням методів математичної статистики, моделювання та оптимізації.

*Наукова новизна одержаних результатів.* Обґрунтовано доцільність використання відтоків першої та другої кристалізації як джерела біологічно активних речовин для збагачення білого цукру. Встановлено оптимальні параметри ферментативного гідролізу відтоків кристалізації для отримання інвертного сиропу з підвищеним вмістом мінеральних речовин та вітамінів. Досліджено вплив концентрації та способу підготовки відтоку на фізико-хімічні та органолептичні показники готового продукту.

*Практичне значення роботи.* Розроблено технологію отримання збагаченого білого цукру з використанням побічних продуктів цукрового виробництва, що дозволяє підвищити біологічну цінність кінцевого продукту без суттєвих змін існуючого технологічного процесу. Запропоновано раціональні параметри внесення інвертного сиропу з відтоків кристалізації, що забезпечують досягнення заданих органолептичних показників цукру. Результати досліджень можуть бути впроваджені на діючих цукрових заводах України для розширення асортименту продукції та підвищення рентабельності виробництва.

Запропонована технологія потенційно дозволяє перетворити рафінований цукор із традиційного підсолоджувача на продукт із підвищеною біологічною цінністю, що відповідає сучасним тенденціям здорового харчування.

*Апробація результатів роботи.* Основні положення та результати дипломної роботи доповідались та обговорювались на Міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді - вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (квітень 2024 р.) та на XIV Міжнародно науково-технічній конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції» (листопад 2025). Матеріали наведено у Додатку А.

# РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМА ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ЦУКРУ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ХАРЧУВАННЯ

## 1.1 Світові тренди в споживанні та виробництві цукру

Проблематикою збагачення цукру корисними речовинами західні науковці зацікавилися ще більш ніж півстоліття тому. Наприклад, детально це питання розглядалося у статті «Збагачення цукру та цукровмісних продуктів» Хуана М.Навіа [50]. В даній роботі автор розглядає питання збагачення цукру та продуктів на його основі вітамінами й мінералами для покращення їхньої харчової цінності. Автор зазначає, що вітаміни відіграють важливу роль у метаболізмі вуглеводів, проте висококалорійні продукти, зокрема цукор, часто позбавлені цих важливих поживних речовин. Це створює необхідність у їхньому збагаченні, щоб компенсувати можливий їх дефіцит в харчуванні.

Тренд до росту споживання цукру на душу населення, який спостерігається зараз, був яскраво вираженим і в минулому столітті. Наприклад, у 1909 році цей показник становив в середньому 16,5 фунтів на людину, тоді як у 1967 році вже досягнув 42,6 фунта. Такий ріст, вважає автор [50], створює певний «харчовий парадокс». Цукор, який часто вживають у рафінованій формі, майже не містить поживних речовин, проте, здобуваючи все більшу популярність, цукор витісняє інші продукти, багаті на білки, мінерали та вітаміни, тим самим знижуючи загальну якість харчування населення. Дослідник пропонує три можливих підходи до вирішення цієї проблеми: зменшення споживання рафінованого цукру, заміна його на природні підсолоджувачі, або збагачення цукру та продуктів на його основі вітамінами й мінералами. Останній підхід вважається автором найбільш реалістичним, оскільки харчові звички людей важко змінити, а інші підходи є менш досяжними з практичної точки зору. Науковець підкреслює, що збагачення продуктів харчування має базуватися на науково обґрунтованих принципах і враховувати метаболічні потреби людини.

Аналіз вітчизняних науковців Гусятинської Н.А. та Чорної Т.М. сучасних напрямів виробництва та споживання цукру на глобальному рівні також свідчить про значну динамічність ринку цукру та цукровмісних продуктів [36]. Тренди до зростання рівня споживання, про які писав Х. Навіа у 1960-х роках, зберігаються. Хоча у світі основними джерелами цукру залишаються цукровий буряк і цукрова тростина, глобальний ринок цукру все ж характеризується значним різноманіттям продукції. Світовий ринок цукру характеризується значним різноманіттям продукції. За даними

науковців [36], світові виробники пропонують широкий асортимент білих цукрів (кристалічний, цукрова пудра, пекарський спеціальний, барний, грубий, перлинний, пресований, льодяниковий), коричневих цукрів (світло- та темно-коричневий, Турбінадо, Демерара, Мусковадо, Панела, Суканат) та рідких цукрів (цукровий сироп, інвертний сироп). Коричневі цукри містять від 3,5 до 13 % патоки, що забезпечує наявність мінеральних речовин - кальцію, заліза, магнію та калію. Маркетингові дослідження свідчать, що споживачі готові платити більше за збагачений цукор, враховуючи його корисні властивості.

В той же час, в Україні асортимент цукрової продукції залишається вкрай обмеженим. Вітчизняні підприємства випускають переважно білий кристалічний цукор, цукрову пудру, пресований цукор та сахарозу для шампанського. Найбільші виробники - ТЗОВ «Радехівський цукор», агрохолдинг «Астарта», «Укрпромінвест-Агро» - загалом обмежуються виробництвом білого кристалічного цукру. Виняток становить «Гнідавський цукровий завод», який випускає природний цукор зі збереженими мікро- та макроелементами, а також желювальний цукор з пектином та лимонною кислотою. Перспективними напрямками розширення асортименту вітчизняних цукропродуктів є виробництво органічного цукру (світовий ринок якого до 2032 р. зросте до 3,14 млрд дол. США), цукрів зі збагаченим макро- та мікроелементним складом, а також харчових сиропів з альтернативної цукровмісної сировини, зокрема цукрового сорго. Водночас широке впровадження збагачених цукрів в Україні стримується високою вартістю та відсутністю налагодженого виробництва, що обумовлює актуальність досліджень щодо використання доступної вітчизняної сировини - побічних продуктів цукрового виробництва.

Глобально, обсяги виробництва цукру у найближчі роки продовжують зростати за рахунок країн, що розвиваються. Хоча у розвинених країнах споживання цукру на одну особу демонструє тенденцію до зниження, одночасно з цим на таких ринках зростає різноманіття та асортимент запропонованих споживачам цукрів та цукровмісних продуктів. В Україні, в свою чергу, рівень споживання цукру на душу населення залишається високим, хоча щорічне скорочення цього показника також має місце. Отже, за тенденціями споживання, Україна займає середню позицію. У відповідь на виклики, що надходять від ринків розвинутих країн, останніми десятиліттями асортимент продукції українських цукрових також зростає, хоча й недостатньо. Висновки роботи «Споживання цукру: світові тренди» підкреслюють важливість адаптації українських цукрових виробників до світових трендів споживання через розширення асортименту продукції. Це

включає виробництво органічних цукрів та продуктів із збагаченим складом (вітамінами, мікроелементами, тощо). Впровадження подібних інновацій дозволить вітчизняним заводам не лише відповідати потребам сучасного споживача, але й створювати умови для зростання рентабельності галузі.

Висновки науковців М. Хоменка та В. Штангеева [37] підтверджують дані Н. Гусятинської та Т. Чорної. Наприклад, у США виробляють понад 30 видів цукропродуктів, що різняться вмістом моно- та дицукридів, макро- і мікроелементів, амінокислот, вітамінів та інших біологічно активних речовин. У Чехії випускають кольоровий цукор, карамелізований цукор «Кулерка», великокристалічний «Празький кристал» та «Кандіс»; у Великобританії - помадний цукор; в Японії - цукор «Кібісато» з підвищеним вмістом мінеральних речовин (113 мг кальцію, 200 мг калію, 2 мг заліза на 100 г продукту). У ряді інших країн впроваджено виробництво цукру, збагаченого вітаміном А, бетаїном, екстрактами лікарських рослин.

Широке впровадження збагачених цукрів в Україні стримується їх потенційно вартістю та відсутністю налагодженого виробництва. Водночас вітчизняна цукрова промисловість має значний потенціал для розширення асортименту за рахунок використання побічних продуктів виробництва. Меляса бурякова містить 2,5–4,0 % калію, значні кількості кальцію, магнію, заліза, вітамінів групи В та бетаїну. Дослідниками було встановлено, що додавання бурякової меляси до харчових продуктів підвищує вміст калію на 89–94 % та суттєво покращує антиоксидантний потенціал.

Окремі розробки в напрямку збагачених цукропродуктів виконано в Національному університеті харчових технологій: запропоновано технології цукру з CO<sub>2</sub>-екстрактами лікарських рослин та йодованого цукру. Однак ці технології не набули промислового впровадження, що обумовлює актуальність досліджень щодо створення доступних збагачених цукропродуктів на основі вітчизняної сировини.

В науковій праці «Аналіз видів цукру та розширення його асортименту в Україні» [26] показано, що на ринку розвинутих країн існує широкий та постійно зростаючий асортимент цукрів, серед яких виділяють рафінований, нерафінований тростинний, цукор-сирець, кам'яний цукор, кленовий, пальмовий та безліч їх модифікацій та варіацій готового продукту. Особливу увагу споживачів привертає нерафінований тростинний цукор завдяки його природному вмісту мікроелементів, характерному смаку, що підкріплюється відповідністю такого цукру тенденції до «натуральності».

Автори звертають увагу на те, що на світовому ринку пропонуються різні методи збагачення цукру, що дозволяють створювати функціональні продукти з підвищеною біологічною цінністю. Серед них:

- додавання рослинних компонентів (імбиру, м'яти, малини);
- збагачення мікроелементами (цинк, калій, магній) та вітамінами;
- використання похідних дикорослих ягід (обліпіха, калина), що покращують смакові властивості цукру (особливо широко розповсюджений метод).

В той же час, зазначають автори, в Україні особливого розширення асортименту цукрів не спостерігається. Наразі основним джерелом цукру залишається цукровий буряк, з якого виготовляють цукор кристалічний, пресований та цукрову пудру. Асортимент збагачених цукрів є досить обмеженим, а виробництво органічного цукру орієнтоване переважно на експорт.

На сьогодні розширення асортименту цукрів шляхом виготовлення цукру, збагаченого біологічно-активними речовинами, залишається прерогативою крафтових виробників. У вітчизняній індустрії присутній певний скепсис щодо інноваційних, «корисних» продуктів.

Незважаючи на це, запит українського споживача до насичених корисними речовинами продуктів все ж присутній та зростає разом з популяризацією концепції здорового способу життя. Отже, перспективним напрямом стає впровадження світових інноваційних практик збагачення цукру в Україні.

Дослідження підкреслює необхідність розширення асортименту цукру в Україні шляхом впровадження інноваційних технологій збагачення, зокрема, використання похідних продуктів переробки дикорослих ягід. Це дозволить забезпечити ринок вітчизняних споживачів продуктами з підвищеною харчовою цінністю, зміцнити позиції українських виробників на міжнародному ринку та сприяти розвитку цукрової галузі в цілому.

## **1.2 Аналіз технологій одержання збагаченого цукру**

Як згадувалося вище, споживання цукру в країнах, що розвиваються зростає. Це означає, що поширення асортименту збагаченого цукру може забезпечити надійний доступ широких верств населення до корисних речовин. У праці «Розроблення технології одержання збагаченого цукру» М. Самілікта Д. Корнієнко вказується, що в Україні виробництвом збагаченого цукру займаються недостатньо, і лише окремі зразки функціонального цукру були створені науковцями [28]. Натомість, за кордоном спостерігається активне розширення асортименту насиченого цукру, тож українські виробники знаходяться під загрозою втратити позиції на вітчизняному ринку. Науковцями [28] запропоновано функціональну технологічну схему виробництва збагаченого цукру, що включає основні етапи технологічного

процесу, включаючи методи осмотичної дегідратації та введення природних барвників і смакових добавок. Результати дослідження показують, що такі інноваційні підходи дозволяють не тільки покращити органолептичні властивості цукру, але й підвищити його біологічну та органолептичну цінність, позаяк збагачений цукор містить не лише вуглеводи, але й амінокислоти, ароматичні та забарвлювальні речовини. Розроблений продукт може знайти широке застосування у виробництві функціональних продуктів харчування, а також бути використаним як заміна традиційних підсолоджувачів.

Запропонована авторами технологія має практичне використання, і може бути впроваджена на існуючих виробничих потужностях цукрових заводів із мінімальними витратами.

У іншій науковій праці [29] М. Самілик, Д. Корнієнко та А. Болгова підкреслюють, що розвиток індустрії збагачення цукру дозволить вирішити проблему сезонності. Як наслідок, деякі підприємства цукрової промисловості зможуть не лише розширити сферу застосування основної сировини, але й забезпечити продовження виробничого процес протягом усього року, впроваджуючи додаткові технологічні цикли, пов'язані з переробкою дикорослих ягід. Дослідження також акцентує увагу на потенційній функціональній ролі таких продуктів у раціоні людини. Збагачений цукор розглядається як можливий інгредієнт для підвищення імунітету, покращення обміну речовин і забезпечення організму людини необхідними мікронутрієнтами. Важливою проблематикою, на яку звертають увагу автори, є також питання стабільності біологічно активних компонентів у готовому продукті.

В роботі акцентується необхідність подальших досліджень у сфері оптимізації технологій збагачення, оцінки економічної доцільності впровадження таких продуктів у масове виробництво, а також вивчення їхньої споживчої привабливості.

Функціонально схожою до описаної вище технології є технологія збагачення цукру шляхом використання похідного продукту що утворюється під час виробництва цукатів із дині - осмотичного розчину. В праці [30] наводиться опис технологічного процесу. Осмотичний розчин набуває ароматичних і смакових характеристик дині, і має вміст сухих речовин 41.41% і сахарози 34.94%. Розчин додають до гранульованого цукру в кількості 10% від маси. Збагачений цукор має світло-бежевий колір, чистий, без сторонніх домішок, з характерним ароматом і смаком дині, що є бажаним результатом. Масова частка сахарози у збагаченому цукрі становила 99.11%.Ця праця також підтверджує перспективність повторного

використання інших побічних продуктів різних галузей харчової промисловості виробництва для підвищення цінності цукру. Базуючись на емпіричному досвіді, М. Самілик та М. Ткачук роблять висновок, що насичення цукру корисними речовинами є практично доцільним та перспективним напрямом.

В своїй праці «Інноваційні технології одержання цукровмісних продуктів І. Гріненко та колеги продовжують аналіз інноваційних технологій створення цукровмісних продуктів із підвищеною біологічною цінністю [2]. Основну увагу зосереджено на використанні ягідної та пряно-ароматичної сировини (малина, обліпиха, м'ята, імбир) для збагачення білого цукру-піску. В дослідженні доведено, що додавання цих компонентів значно покращує мінеральний склад цукру, збільшуючи в ньому склад магнію, калію, цинку, каротину та інші біологічно активні речовини.

Розроблено технологічну схему (рис. 1.1) для отримання збагаченого цукру, які включають в себе попередню обробку сировини, змішування з цукром, осмотичну дегідратацію та висушування. Органолептична оцінка готового продукту показала високі смакові, ароматичні та візуальні характеристики збагаченого продукту. Особливо позитивні результати спостерігалися при використанні малини та м'яти.



Рисунок 1.1 - Принципова схема одержання цукру з підвищеною біологічною цінністю за І. Гріненком

Окремо авторами розглядається розробка аналога меду – «Біоцукру». Цей продукт виготовляється шляхом додаванням рослинних екстрактів до сиропу білого цукру з подальшою обробкою бджолами, що дозволяє отримати екологічний продукт із високим вмістом ферментів, глюкози, фруктози та мінералів, що схожий за своїми органолептичними

властивостями до меду.

В науковій праці [2] підкреслюється значення збагаченого цукру у розширенні асортименту функціональних продуктів, задоволенні сучасного споживчого попиту на натуральні та корисні підсолоджувачі. Запропоновані технології мають перспективу для впровадження у промисловому масштабі.

Ці висновки підкріплюються також працею «Одержання збагаченого цукру», в якій автори, базуючись на критичному аналізі сучасного підходу до споживання рафінованого цукру, доводить необхідність збагачення цукру натуральними наповнювачами, які містять вітаміни, мінерали, антиоксиданти та ароматичні речовини [55].

Запропоновано концептуальну технологічну схему, яка включає підготовку рослинної сировини, сушіння, подрібнення та екстрагування активних компонентів, додавання екстрактів у цукор-пісок та рівномірне змішування. Авторами доведено, що порівняння звичайного цукру зі збагаченим показало суттєві відмінності у складі на користь збагаченого:

- *поживна цінність*: цукор з імбиром містить 2,2 г білків, 1,1 г ліпідів, і має калорійність 383 ккал на 100 г, що значно перевищує звичайний цукор, з показниками в 399 ккал на 100г відповідно при майже повній відсутності білків та ліпідів;
- *мінеральний склад*: збагачений цукор має вищий вміст кальцію, магнію, заліза, міді та інших мінералів аніж рафінований, зокрема, цукор з м'ятою містить 58,6 мг кальцію і 18,3 мг магнію на 100 г.
- *вітамінний склад*: виявлено суттєве зростання вмісту вітамінів С, Е та фолієвої кислоти в залежності від рослинного компонента.

В іншій науковій праці («Інноваційні технології смакових добавок») дослідники підтверджують наведені вище дані та ще раз доводять, що розроблені технології збагачення дозволяють покращити мінеральний склад цукру, додаючи у готовий продукт калій, магній, цинк, селен та інші корисні елементи [2]. Проведено органолептичну оцінку збагаченого цукру, яка підтвердила його високі показники за смаком, кольором, запахом і зовнішнім виглядом.

Хоча збагачення цукру вищезазначеними корисними похідними від переробки ягід може нести собою певні ризики, все є користь від такого продукту переважає потенційні небезпеки. Питання безпеки насичення цукру білого похідними від переробки плодів детально розглянуті в роботі «Аналіз та оцінка потенційних ризиків у виробництві збагаченого цукру» [27]. Авторі аналізують також згадану вище технологію збагачення, яка включає

в себе осмотичну дегідратацію [29]. Основним об'єктом дослідження даній праці є якісні показники збагаченого цукру та виникнення можливих небезпечні фактори на кожному етапі виробництва, від підготовки сировини до пакування. Використовуючи принципи системи НАССР, досліджено біологічні, хімічні та фізичні ризики, включаючи забруднення мікроорганізмами, токсичними речовинами та сторонніми включеннями. Авторами було доведено можливість створення безпечного та конкурентоспроможного цукрового продукту із додаванням похідних дикорослих плодів, таких як цукор з додатками з калини, бузини, обліпихи та горобини. Це відкриває перспективи розширення асортименту продукції, спрямованої на задоволення попиту на якісні та безпечні харчові продукти. Наголошено на необхідності подальших досліджень для визначення біологічної цінності такого збагаченого цукру.

Окрім рослинних компонентів, похідних ягід та вітамінних добавок, перспективним напрямом також є насичення білого цукру цукровим інвертним цукровим сиропом та медом [54].

Логічним розвитком ідеї насичення рафінованого цукру цукровим сиропом є також можливість насичення його продуктами кристалізації (першої, другої) та мелясою.

Західними науковцями давно акцентується увага на корисних властивостях бурякової меляси. Наприклад, це питання розглядається в праці «Sugar Cane and Sugar Beet Molasses, Antioxidant-rich Alternative to Refined Sugar» [53]. Меляса та продукти кристалізації багаті на антиоксиданти, тож авторами вивчається можливість використання їх у якості харчових добавок.

На необхідності ґрунтовного дослідження додаткових методів використання меляси наголошують і китайські вчені. В праці «Microbial production of value-added bioproducts and enzymes from molasses» автори пропонують альтернативи традиційному використанню меляси, яке часто обмежується виробництвом кормів для тварин або просто утилізацією [54]. Автори стверджують, що завдяки біоконверсії меляса може стати джерелом різноманітних корисних речовин, що відкриває для її вторинного використання значні можливості у біотехнологічній, енергетичній та харчовій галузях. Це сприяє зниженню екологічного навантаження і підвищенню рентабельності цукрового виробництва.

Хоча дослідники ШухангЧжан, Цзінцзін Ван та Хун Цзян концентруються переважно на перспективах мікробної переробки меляси, що дозволяє отримувати широкий спектр біопродуктів (біопалива, полісахаридів, ензимів, органічні кислот тощо), у праці все ж наголошується,

що завдяки високому вмісту корисних речовин, меляса є цінною сировиною для харчових технологій.

З цими висновками погоджуються й індійські науковці у праці «SugarBeetMolassesProductionandUtilization», особливо наголошуючи на вмісті у мелясі та продуктах кристалізації амінокислот, мінералів та бетаїну, що робить її цінним та біологічно активним продуктом [41]. Хоча основна частина відходів кристалізації цукру вже успішно використовується як корм для тварин, у праці стверджується, що науковцям варто працювати і над розробкою методів переробки меляси для харчування людьми. Отже, насичення рафінованих цукрів мелясою чи її похідними може стати перспективним напрямком.

Вітчизняні дослідники погоджуються у своїх висновках з іноземними та також вказують, що меляса є доступним джерелом поживних речовин. Зокрема це питання досліджує О. Юрченко в праці «Аналіз стану та перспектив переробки меляси як одного з основних відходів цукрової промисловості» [39]. Автор праці акцентує увагу на тому, що цукрова промисловість України, виробляючи значні обсяги відходів, має великий потенціал для їх повторного використання з економічною та екологічною вигодою. Меляса вже успішно використовується для виробництва хлібопекарських дріжджів і сиропів, та слугує в таких виробках джерелом вітамінів і мікроелементів. Інтенсифікація переробки меляси сприятиме зменшенню обсягів промислових відходів, зниженню екологічного навантаження та створенню продуктів з доданою вартістю (до яких належить і збагачений цукор). Це доводить доцільність впровадження інноваційних підходів збагачення рафінованого цукру.

Отже, на основі аналізу літературних джерел слід можна зробити висновки про доцільність збагачення білого цукру біологічно-активними речовинами, одержаними з рослинної сировини. Перспективним напрямком є застосування відтоків бурякоцукрового виробництва.

### **Висновки до Розділу 1**

На підставі аналізу літературних джерел встановлено, що питання необхідності підвищення харчової цінності цукру є актуальним як на світовому, так і на вітчизняному рівні. Зростання споживання рафінованого цукру супроводжується зниженням загальної якості харчування населення внаслідок витіснення з раціону продуктів з вищою біологічною цінністю.

Аналіз світових тенденцій свідчить про розширення асортименту цукрів та цукровмісних продуктів на ринках розвинених країн, зокрема за рахунок збагачення вітамінами, мінеральними речовинами та рослинними

компонентами. В Україні асортимент цукрової продукції залишається обмеженим, що вказує на необхідність впровадження інноваційних технологій.

За допомогою наукових джерел обґрунтовано перспективність використання побічних продуктів цукрового виробництва - відтоків першої та другої кристалізації, меляси та їх інвертних сиропів - як джерела біологічно активних речовин для збагачення білого цукру. Такий підхід дозволяє не лише підвищити харчову цінність кінцевого продукту, але й забезпечити раціональне використання виробничих ресурсів.

## РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Характеристика сировини та предметів дослідження

*Білий цукор кристалічний.* Основною сировиною для отримання збагаченого цукру є білий цукор кристалічний, що відповідає вимогам ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови». Цукор білий являє собою очищену та кристалізовану сахарозу. Масова частка сахарози у продукті становить не менше 99,75% для першої категорії та не менше 99,55% для другої категорії. В дослідженні використовується цукор першої категорії.

За фізико-хімічними властивостями цукор білий кристалічний характеризується наступними показниками: температура плавлення 186-188°C, розчинність у воді при 20°C становить 203,9 г на 100 г води, при 100°C - 487,2 г на 100 г води. Енергетична цінність цукру становить 398 ккал/100 г (1665 кДж/100 г). Білий рафінований цукор є практично чистою сахарозою і не містить білків, жирів, харчових волокон та вітамінів [45].

За органолептичними показниками цукор має бути білого кольору, без сторонніх домішок, мати солодкий смак без сторонніх присмаків та запахів. Кристали цукру повинні бути однорідними, сипкими, без грудочок. Масова частка вологи не повинна перевищувати 0,10% від загальної маси, зольність - не більше 0,027% для першої категорії. Кольоровість цукру у розчині не повинна перевищувати 45,0 одиниць ICUMSA.

Мінеральний склад білого цукру є вкрай незначним внаслідок рафінації. Вміст калію не перевищує 2-3 мг/100 г, кальцію - 1-2 мг/100 г, магнію - менше 1 мг/100 г, заліза - менше 0,1 мг/100 г. Таким чином, білий цукор є висококалорійним продуктом з мінімальною біологічною цінністю, що обумовлює актуальність його збагачення корисними речовинами, а отже і здійснення досліджень, запропонованих у цій роботі.

*Відтоки першої кристалізації,* що розглянуто у даній роботі у якості сировини для насичення рафінованого цукру, мають наступні властивості (таблиця 2.1):

Таблиця 2.1

Властивості відтоків першої кристалізації

Показник	Значення
Вміст сухих речовин, %	80
Масова частка сахарози, %	66,5
Вміст редукуючих речовин, %	1,0
pH	7,0
Кольоровість, од. ICUMSA	5500
В'язкість при 60°C, мПа·с	225

Показник	Значення
Густина при 20°C, г/см <sup>3</sup>	1,40
Калій, %	1,15
Кальцій, %	0,20
Магній, %	0,10
Натрій, %	0,20*
Фосфор, %	0,035
Залізо, мг/100 г	10,0
Цинк, мг/100 г	3,5
Мідь, мг/100 г	1,0
Марганець, мг/100 г	2,0
Хром, мг/100 г	0,09*
Тіамін (В <sub>1</sub> ), мг/100 г	0,02
Рибофлавін (В <sub>2</sub> ), мг/100 г	0,035
Ніацин (В <sub>3</sub> ), мг/100 г	0,55
Пантотенова кислота (В <sub>5</sub> ), мг/100 г	0,20
Піридоксин (В <sub>6</sub> ), мг/100 г	0,04
Фолієва кислота (В <sub>9</sub> ), мг/100 г	0,006*
Вільні амінокислоти, % до СР	0,55
Бетаїн, %	0,85

Відтоки другої кристалізації мають наступні властивості (таблиця 2.2):

Таблиця 2.2

Властивості відтоків другої кристалізації

Показник	Значення
Вміст сухих речовин, %	82,5
Масова частка сахарози, %	64
Чистота, %	77,6
Вміст редуруючих речовин, %	1,75
рН	6,5
Кольоровість, од. ІСУМСА	11500
В'язкість при 60°C, мПа·с	350
Густина при 20°C, г/см <sup>3</sup>	1,42
Калій, %	1,60
Кальцій, %	0,275
Магній, %	0,14
Натрій, %	0,26*
Фосфор, %	0,055
Залізо, мг/100 г	14,0
Цинк, мг/100 г	5,5
Мідь, мг/100 г	1,4
Марганець, мг/100 г	3,5

Показник	Значення
Хром, мг/100 г	0,12*
Тіамін (В <sub>1</sub> ), мг/100 г	0,035
Рибофлавін (В <sub>2</sub> ), мг/100 г	0,055
Ніацин (В <sub>3</sub> ), мг/100 г	0,85
Пантотенова кислота (В <sub>5</sub> ), мг/100 г	0,26*
Піридоксин (В <sub>6</sub> ), мг/100 г	0,055
Фолієва кислота (В <sub>9</sub> ), мг/100 г	0,008*
Вільні амінокислоти, % до СР	0,85
Бетаїн, %	1,30

*Відтоки третьої кристалізації (меляси) мають наступні властивості (таблиця 2.3):*

Таблиця 2.3

Властивості відтоків третьої кристалізації (меляси)

Показник	Значення
Вміст сухих речовин, %	80
Масова частка сахарози, %	48,2
Чистота, %	60
Вміст редукуючих речовин, %	2,25
рН	7,0
Кольоровість, од. ICUMSA	>20000
В'язкість при 50°C, мПа·с	10000
Густина при 20°C, г/см <sup>3</sup>	1,45
Калій, %	3,25
Кальцій, %	0,30
Магній, %	0,18
Натрій, %	0,65
Фосфор, %	0,06
Залізо, мг/100 г	32,5
Цинк, мг/100 г	10,0
Мідь, мг/100 г	2,5
Марганець, мг/100 г	6,5
Хром, мг/100 г	0,30
Тіамін (В <sub>1</sub> ), мг/100 г	0,10
Рибофлавін (В <sub>2</sub> ), мг/100 г	0,10
Ніацин (В <sub>3</sub> ), мг/100 г	2,0
Пантотенова кислота (В <sub>5</sub> ), мг/100 г	0,65
Піридоксин (В <sub>6</sub> ), мг/100 г	0,13
Фолієва кислота (В <sub>9</sub> ), мг/100 г	0,02
Вільні амінокислоти, % до СР	1,75
Бетаїн, %	4,5

*Характеристика ферментного препарату «Інвертаза».* Для проведення ферментативного гідролізу використовували ферментний препарат «Інвертаза» (систематична назва -  $\beta$ -фруктофуранозідаза, класифікаційний номер КФ 3.2.1.26). Ферментний препарат «Інвертаза», що використовувався у дослідженні, отримано мікробіологічним синтезом з використанням дріжджів роду *Saccharomyces*. Препарат являє собою рідину світло-коричневого кольору з активністю 1500-2000 одиниць інвертазної активності на 1 мл препарату. Оптимум дії ферменту знаходиться в межах температури 50-55°C та рН 4,5-5,5. При температурі вище 60°C спостерігається поступова інактивація ферменту, а при температурі 80-90°C відбувається повна термічна денатурація білкової молекули ферменту протягом 5-10 хвилин.

*Коричневий цукор.* Кінцевим продуктом запропонованої технології є білий цукор, збагачений біологічно активними речовинами шляхом насичення інвертними сиропами продуктів першої та другої кристалізації.

## **2.2. Загальна характеристика методів та методик досліджень**

Методи аналізу технологічних показників включали: визначення масової частки сухих речовин рефрактометричним методом, визначення редукувальних речовин методом Люффа, визначення кольоровості в одиницях оптичної густини, а також рН-метрію для контролю кислотності розчинів.

Органолептична оцінка передбачала дослідження смакових, ароматичних та візуальних характеристик продукту з визначенням однорідності кольору, запаху та смаку та відсутності сторонніх включень в сировині для насичення.

*Визначення масової частки сухих речовин (рефрактометричний метод).* Метод базується на залежності показника заломлення світла розчином від концентрації розчинених у ньому речовин. У даній роботі рефрактометричний метод застосовувався для контролю вмісту сухих речовин у відтоках кристалізації, інвертних сиропах та розчинах збагаченого цукру. Визначення проводили за допомогою рефрактометра при температурі 20°C з подальшим перерахунком показника заломлення на масову частку сухих речовин за відповідними таблицями. Контроль вмісту сухих речовин є необхідним для забезпечення відтворюваності умов експерименту, зокрема при приготуванні розчинів насичення із заданою концентрацією та при оцінці ступеня висушування готового продукту.

*Визначення масової частки сахарози (поляриметричний метод).* У даному дослідженні поляриметричний метод використовувався для

визначення вмісту сахарози у відтоках кристалізації до та після ферментативного гідролізу, що дозволяло оцінити ступінь інверсії. Метод ґрунтується на здатності сахарози обертати площину поляризації світла. Кут обертання пропорційний концентрації сахарози у розчині. Визначення проводили на автоматичному поляриметрі з використанням поляриметричних кювет довжиною 200 мм.

*Визначення кольоровості (фотоколориметричний метод).* Метод базується на вимірюванні оптичної густини розчину при певних довжинах хвиль. Кольоровість є важливим показником якості цукру та цукровмісних продуктів, що характеризує вміст барвних речовин. У даній роботі кольоровість визначали при довжинах хвиль 560 нм та 420 нм з використанням кювет різної товщини (1 мл та 3 мл). Визначення кольоровості проводили для відтоків кристалізації, їх інвертних сиропів та розчинів збагаченого цукру. Цей показник є критичним для оцінки впливу збагачувальних добавок на зовнішній вигляд готового продукту та його відповідності вимогам нормативної документації.

*Визначення зольності.* Метод базується на залежності електропровідності розчину цукру від вмісту в ньому мінеральних речовин (золи). Кондуктометричний метод дозволяє швидко визначити ступінь вмісту мінеральних речовин у цукрі та цукровмісних продуктах. У контексті даного дослідження визначення зольності є ключовим методом, оскільки саме вміст мінеральних речовин характеризує ступінь збагачення готового продукту. Вимірювання проводили за допомогою кондуктометра при концентрації розчину 20% (5 г цукру на 25 мл дистильованої води). Підвищення зольності збагаченого цукру порівняно з вихідним білим цукром свідчить про успішне насичення продукту мінеральними речовинами з інвертного сиропу.

*Визначення рН (потенціометричний метод).* Метод ґрунтується на вимірюванні електрорушійної сили електродної системи, яка залежить від активності іонів водню у досліджуваному розчині. Визначення рН проводили за допомогою лабораторного рН-метра з попереднім калібруванням приладу за стандартними буферними розчинами. У даній роботі контроль рН є необхідним на кількох етапах: при проведенні ферментативного гідролізу (оптимум активності інвертази знаходиться в межах рН 4,5-5,5), при оцінці якості інвертних сиропів та при аналізі готового збагаченого цукру. Значення рН впливає на стабільність продукту при зберіганні та його органолептичні властивості.

*Визначення вмісту редукуючих речовин.* Метод базується на здатності редукуючих цукрів (глюкози, фруктози) відновлювати іони металів у лужному середовищі. Визначення вмісту редукуючих речовин є принципово

важливим для даного дослідження, оскільки дозволяє оцінити ступінь інверсії сахарози у процесі ферментативного гідролізу. Зростання вмісту редуруючих речовин після обробки ферментом «Інвертаза» підтверджує гідроліз сахарози до глюкози та фруктози. Також цей показник контролюється у готовому збагаченому цукрі, оскільки підвищений вміст редууючих речовин впливає на гігроскопічність продукту та його здатність до зберігання.

*Органолептична оцінка.* Органолептичний аналіз передбачає оцінку якості продукту за допомогою органів чуття: зору, смаку, нюху та дотику. У даній роботі органолептична оцінка є визначальним методом для встановлення придатності збагаченого цукру до споживання, а отже і доцільності дослідження чи рекомендації до впровадження технології у виробництво. Оцінювали наступні показники: колір, смак, запах, зовнішній вигляд, консистенція. Важливо зазначити, що саме за результатами органолептичної оцінки було встановлено недоцільність використання м'яси як сировини для збагачення через виражений гіркий післясмак готового продукту.

### **2.3. Методика проведення ферментативного гідролізу**

Інвертні сиропи отримували шляхом ферментативного гідролізу відтоків першої та другої кристалізації з використанням ферментного препарату «Інвертаза». Процес інверсії полягає у гідролітичному розщепленні сахарози на складові моносахариди - глюкозу та фруктозу у відповідності такому рівнянню:



Ферментативний гідроліз має суттєві переваги перед кислотним: процес відбувається за м'яких умов (температура 50-55°C, рН 4,5-5,5), що дозволяє зберегти термолабільні біологічно активні речовини - вітаміни, амінокислоти та антиоксиданти. Крім того, ферментативна інверсія не супроводжується утворенням токсичних побічних продуктів, таких як гідроксиметилфурфурол, що характерно для кислотного гідролізу.

Процес отримання інвертного сиропу з відтоків кристалізації проводили за наступною методикою:

*Перший етап. Підготовка сировини.* На першому етапі здійснювали підготовку сировини. Відтоки першої або другої кристалізації розводили очищеною водою до концентрації 55-60% сухих речовин. Розведення є необхідним для зниження в'язкості середовища та забезпечення оптимальних умов для дії ферменту та подальшого насичення цукру сиропом. Визначали масову частку сухих речовин рефрактометричним методом та розраховували

вміст сахарози у розчині з урахуванням чистоти вихідної сировини.

*Другий етап. коригування рН розчину.* За необхідності доводили рН розчину до оптимального значення 4,5-5,5 шляхом додавання відповідних реагентів (лугів та кислот). Контроль рН здійснювали потенціометричним методом.

*Третій етап. Підготовка ферменту.* Кількість ферменту «Інвертаза» розраховували виходячи із співвідношення 1 мл препарату на 500 г сахарози у розчині, що відповідає дозуванню 0,2% від маси сахарози або приблизно 0,05% від маси сухих речовин. Приклад розрахунку для 500 г розчину з вмістом сухих речовин 60% та чистотою 80%:

- маса сухих речовин становить  $500 * 0,6 = 300$  г;
- маса сахарози становить  $300 \times 0,8 = 240$  г;
- необхідна кількість ферменту становить  $240 / 500 = 0,48$  мл (0,5 мл).

*Четвертий етап. Ферментативний гідроліз.* Розчин з внесеним ферментом витримували у термостаті при температурі 50°C протягом 24 годин за постійного періодичного перемішування. Тривалість процесу обрано з урахуванням необхідності досягнення високого ступеня інверсії (85-95%) за м'яких температурних умов, що забезпечують збереження біологічно активних речовин.

Далі здійснювали інактивацію ферменту. Після завершення періоду ферментації проводили термічну інактивацію ферменту шляхом нагрівання розчину до температури 85-90°C та витримування при цій температурі протягом 5 хвилин. Короткочасне високотемпературне оброблення забезпечує повну денатурацію ферменту без суттєвих втрат біологічно активних речовин.

Інактивація ферменту з метою створення частково інвертованого сиропу (33-80 %) здійснювалася після 8-16 годин дії ферменту.

*П'ятий етап. Контроль результатів.* На п'ятому етапі визначали вміст сухих речовин, рН, кольоровість, зольність та вміст редукуючих речовин. Отриманий інвертний сироп зберігали при температурі 4-8°C для подальших експериментальних досліджень із збагачення білого цукру.

#### **2.4. Методика проведення досліджень з використанням плану експерименту**

Для проведення комплексного системного дослідження впливу технологічних параметрів на якість збагаченого цукру застосовано математичне планування експерименту. На підставі попередніх досліджень визначено три основні фактори, що суттєво впливають на якість збагаченого цукру: концентрація сухих речовин у розчині насичення ( $X_1$ ), температура

процесу насичення ( $X_2$ ) та кількість розчину насичення у відсотках до маси цукру ( $X_3$ ).

Рівні факторів та інтервали варіювання. Межі варіювання факторів встановлено на підставі попередніх пошукових експериментів та технологічних обмежень процесу. Діапазон варіювання концентрації сухих речовин у розчині насичення ( $X_1$ ) становив 55-75%, температури процесу ( $X_2$ ) - 50-80°C, кількості розчину насичення ( $X_3$ ) - 5-15% до маси цукру. Рівні факторів та інтервали варіювання наведено у таблиці 2.1. Загальна кількість дослідів становить 15. Рівні факторів та інтервали варіювання наведено в таблиці 2.4

Таблиця 2.4

Рівні факторів та інтервали варіювання

	X1	X2	X3
Рівні факторів	CP розчину насичення у % (55-75)	Температура процесу, °C	Кількість у % (5-15 %)
Верхній рівень +1	71	74	13
Основний рівень 0	65	65	10
Нижній рівень -1	59	56	7
Інтервал варіювання	6	9	3
Рівень + $\alpha$	75,1	80,1	15,04
Рівень - $\alpha$	54,9	49,9	4,95

Експеримент по насиченню цукру складався з наступних етапів (приблизна схема експерименту наведена на Рисунку 2.1):

*Перший етап - отримання інвертного сиропу.* Процес створення інвертних сиропів детально описано в попередньому розділі, присвячену ферменту «Інвертаза».

*Другий етап - насичення цукру.* До білого цукру додавали одержаний інвертний сироп у пропорціях, визначених планом експерименту. Суміш перемішували протягом 2 хвилин та викладали у силіконові форми. Насичений цукор висушували в термостаті за температури 50-60°C до повного висушування.

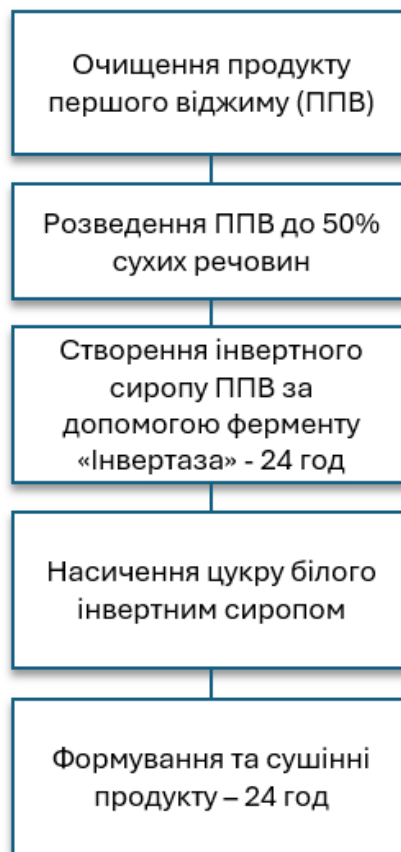


Рисунок 2.1 Принципова схема проведення експерименту зі створення коричневого цукру

*Третій етап - аналіз готового продукту.* Після висушування зразки виймали з форм для проведення органолептичного та фізико-хімічного аналізу. Методика аналізу включала операції, вже згадані вище: визначення органолептичних показників, визначення зольності, визначення рН розчину з подальшим доведенням до значення 6,9-7,1, визначення кольоровості на фотоколориметрі при довжинах хвиль 560 нм та 420 нм, визначення вмісту сухих речовин розчину для розрахунку показника кольоровості.

- Зольність. Для визначення зольності готували розчин цукру концентрацією 20% (5 г цукру на 25 мл дистильованої води або 20 г на 100 мл, що відповідало порогам точності устаткування). Час витримки прикладі у розчині – 2 хвилини;
- Кольоровість. Розрахунок остаточних параметрів кольоровості здійснювався за формулою:

$$\text{Кол.} = \frac{100 \times 1000 D}{V \times \text{CP}}$$

де  $D$  - оптична густина розчину,  $V$  – об'єм кювети, мм,  $CP$  - вміст сухих речовин у %.

### **Висновки до Розділу 2**

У розділі обґрунтовано вибір об'єктів та методів дослідження. Обґрунтовано доцільність ферментативного гідролізу відтоків кристалізації препаратом «Інвертаза».

Для системного дослідження процесу одержання цукрів збагаченого складу застосовано математичне планування експерименту з трьома факторами.

### **РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОДЕРЖАННЯ ЦУКРУ ЗБАГАЧЕНОГО СКЛАДУ**

Огляд наукової літератури показав, що дослідження технології цукру збагаченого вуглеводного та мінерального складу, одержаного з використанням побічних продуктів цукрового виробництва, є актуальним та відповідає сучасним напрямкам розвитку технологій харчування. На підставі проведеного аналізу було сформульовано завдання експериментального дослідження, а саме: дослідити можливість одержання коричневих цукрів з додаванням ферментованих відтоків бурякоцукрового виробництва; визначити середній вміст макро- та мікроелементів у коричневому цукрі, та на основі визначення основних технологічних параметрів виробництва розробити принципову схему одержання коричневого цукру збагаченого складу.

Для досліджень використовували кристалізаційні відтоки бурякоцукрового виробництва за двома способами підготовки: 1- шляхом розбавлення до вмісту СР 50-75 %; 2 - шляхом розбавлення до вмісту СР 50-75 % та проведення ферментативного гідролізу сахарози.

Аналіз готового продукту здійснюється відповідно до вимог ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови» та включає визначення органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних показників. Органолептичні показники збагаченого цукру оцінювали за кольором, смаком, запахом та зовнішнім виглядом. Фізико-хімічні показники готового продукту визначаються методами описаними вище.

#### **3.1. Застосування кристалізаційного відтоку 3 продукту (меляси)**

Меляса є кінцевим побічним продуктом цукрового виробництва, що утворюється після виснаження утфелю останньої (третьої) кристалізації. У виробничому процесі меляса виводиться з технологічного циклу як продукт, з якого подальше вилучення сахарози традиційними методами кристалізації є економічно недоцільним.

Фізико-хімічні показники меляси: вміст сухих речовин 76-84%, масова частка сахарози 46-51%, чистота 58-62%, вміст редуруючих речовин 1,5-3,0%, рН 6,0-8,0. Кольоровість меляси перевищує 20000 одиниць ICUMSA, в'язкість при 50°C становить 5000-15000 мПа, густина при 20°C - 1,40-1,50 г/см<sup>3</sup>. Меляса характеризується високою мікробіологічною стабільністю при зберіганні [52].

Меляса містить найвищу концентрацію мінеральних речовин серед побічних продуктів цукрового виробництва. Вміст калію становить 2,5-4,0%,

що відповідає 25-40 г/кг продукту і робить мелясу одним з найбагатших природних джерел цього макроелементу. Вміст кальцію - 0,1-0,5%, магнію - 0,05-0,3%, натрію - 0,3-1,0%, фосфору - 0,02-0,10%, заліза - 15-50 мг/100 г. Серед мікроелементів присутні цинк (5-15 мг/100 г), мідь (1-4 мг/100 г), марганець (3-10 мг/100 г), хром (0,1-0,5 мг/100 г).

Біологічна цінність меляси визначається також високим вмістом вітамінів групи В та амінокислот. Концентрація тіаміну (В<sub>1</sub>) становить 0,05-0,15 мг/100 г, рибофлавіну (В<sub>2</sub>) - 0,05-0,15 мг/100 г, ніацину (В<sub>3</sub>) - 1,0-3,0 мг/100 г, піридоксину (В<sub>6</sub>) - 0,05-0,20 мг/100 г, пантотенової кислоти (В<sub>5</sub>) - 0,3-1,0 мг/100 г, фолієвої кислоти (В<sub>9</sub>) - 0,01-0,03 мг/100 г. Загальний вміст вільних амінокислот становить 1,0-2,5% до маси сухих речовин, серед яких переважають глютамінова кислота, аспарагінова кислота та аланін. Вміст бетаїну досягає 3-6%, що є найвищим показником серед продуктів цукрового виробництва [41].

*Проведення експерименту.* Для отримання збагаченого цукру використовували мелясу бурякову з вмістом сухих речовин 65%. Насичення проводили шляхом змішування кристалічного білого цукру з мелясою у двох пропорціях: 10% та 20% меляси до маси цукру. При додаванні 10% меляси загальна маса сухих речовин продукту становила 106,5 г на 100 г вихідного цукру, при 20% - 113 г відповідно. Після змішування продукт висувували до у термостаті протягом доби, до набуття ним прийнятних органолептичних характеристик.

За результатами експерименту, було отримано збагачений цукор з наступними характеристиками, наведеними у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вміст біологічно активних речовин у цукрі, насиченим мелясою

Показник	Меляса, 10%		Збагачений цукор	Меляса, 20%		Збагачений цукор
	Кількість, %	СР, %		Кількість, %	СР, %	
Калій (%)	10%	65%	0.20	20%	65%	0.37
Кальцій(%)	10%	65%	0.02	20%	65%	0.03
Магній(%)	10%	65%	0.01	20%	65%	0.02
Натрій (%)	10%	65%	0.04	20%	65%	0.07
Фосфор(%)	10%	65%	0.004	20%	65%	0.007
Залізо(мг/100 г)	10%	65%	1.98	20%	65%	3.74
Цинк (мг/100 г)	10%	65%	0.61	20%	65%	1.15
Мідь (мг/100 г)	10%	65%	0.15	20%	65%	0.29
Марганець(мг/100 г)	10%	65%	0.40	20%	65%	0.75
Хром (мг/100 г)	10%	65%	0.02	20%	65%	0.03
Тіамін (В <sub>1</sub> )(мг/100 г)	10%	65%	0.006	20%	65%	0.01

Показник	Меляса, 10%		Збагачений цукор	Меляса, 20%		Збагачений цукор
	Кількість, %	СР, %		Кількість, %	СР, %	
Рибофлавін (В <sub>2</sub> ) (мг/100 г)	10%	65%	0.006	20%	65%	0.01
Ніацин (В <sub>3</sub> ) (мг/100 г)	10%	65%	0.12	20%	65%	0.23
Пантотенова к-та (В <sub>5</sub> )(мг/100 г)	10%	65%	0.04	20%	65%	0.07
Піридоксин (В <sub>6</sub> ) (мг/100 г)	10%	65%	0.008	20%	65%	0.01
Фолієва к-та (В <sub>9</sub> ) (мг/100 г)	10%	65%	0.001	20%	65%	0.002
Вільні амінокислоти (%)	10%	65%	0.11	20%	65%	0.20
Бетаїн (%)	10%	65%	0.27	20%	65%	0.52

*Вміст біологічно активних речовин в готовому продукті.* Збагачений мелясою цукор характеризується суттєвим підвищенням вмісту біологічно активних речовин порівняно з білим цукром. Найбільш значущим є збагачення калієм - макроелементом, що регулює водно-сольовий баланс та роботу серцево-судинної системи: при 10% меляси вміст калію становить 200 мг/100 г, при 20% - 370 мг/100 г. Вміст заліза, необхідного для кровотворення та транспорту кисню, досягає 1,98 мг/100 г та 3,74 мг/100 г відповідно. Серед вітамінів групи В найбільш представлений ніацин (В<sub>3</sub>) - 0,12-0,23 мг/100 г, що бере участь в енергетичному обміні. Особливу цінність становить бетаїн - 270 мг/100 г при 10% меляси та 520 мг/100 г при 20%, - який проявляє гепатопротекторні властивості та сприяє зниженню рівня гомоцистеїну в крові. Вміст вільних амінокислот становить 110-200 мг/100 г, що забезпечує додаткову харчову цінність продукту.

*Органолептичні показники.* Темнокоричневий колір, наявність довготривалого гіркогіркогопіслясмаку, наявність специфічного запаху. Готовий коричневий цукор характеризується як м'який та крихкий навіть після висушування.

Незважаючи на високу біологічну цінність, практичні дослідження, показали недоцільність використання меляси для збагачення білого цукру.

Висока кольоровість меляси надає готовому продукту темно-коричневого забарвлення, що суттєво відрізняється від традиційного білого цукру та не відповідає традиційним очікуванням споживачів.

Так, органолептична оцінка зразків цукру, насиченого мелясою, виявила виражений гіркий післясмак, що зумовлений високим вмістом бетаїну, сапонінів та продуктів меланоїдиноутворення. Цей присмак зберігається тривалий час навіть при дозуваннях меляси в 10% до маси цукру, щознижує його органолептичні характеристики та унеможлиблює отримання продукту, який би відповідав очікуванням споживачів.

Значний вміст нецукрів, зокрема азотистих сполук та органічних кислот, зумовлює нестабільність органолептичних показників готового продукту при зберіганні та сприяє занадто активній гігроскопічності та злежуваності цукру.

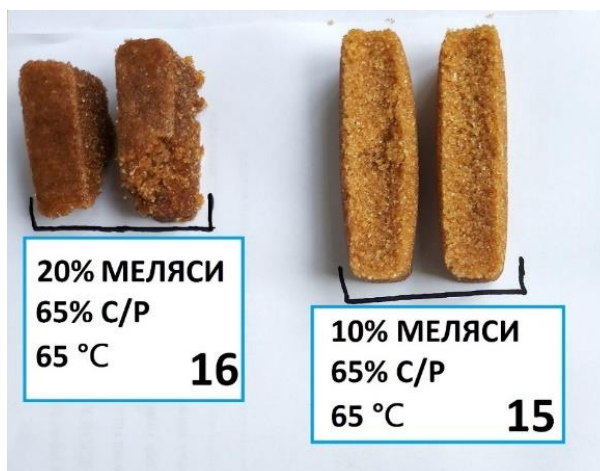


Рисунок 3.1 - Пресований цукор, одержаний при додаванні меляси у кількості 10% та 20%

Враховуючи зазначене, мелясу було виключено з подальших досліджень як сировину для одержання коричневого цукру збагаченого складу.

### 3.2. Застосування відтоку I кристалізації

Наступним етапом експериментальних досліджень було вивчення можливості збагачення білого цукру відтоком першої кристалізації без попереднього ферментативного гідролізу.

Метою цього окремо взятого дослідження було встановлення доцільності проведення інверсії як першого так і другого відтоків кристалізації та порівняння властивостей готового продукту при використанні інвертованого та неінвертованого відтоків в технології одержання цукру збагаченого складу.

*Відтік першої кристалізації* (також відомий під назвами зелена патока I продукту або перший відтік) є побічним продуктом, що утворюється при центрифугуванні утфелю I кристалізації. У технологічному процесі виробництва цукру відтоки першої кристалізації направляються на уварювання утфелю II кристалізації або частково повертаються на уварювання утфелю I кристалізації.

*Фізико-хімічні показники відтоків першої кристалізації* характеризуються наступними параметрами: вміст сухих речовин 78-82%, масова частка сахарози 60-65%, вміст редуруючих речовин 0,5-1,5%, рН 6,5-

7,5. Кольоровість відтоків першої кристалізації становить 3000-8000 одиниць ICUMSA, в'язкість при 60° - 150-300 мПа, густина при 20°С -1,38-1,42 г/см<sup>3</sup>.

*Біологічна цінність* відтоків першої кристалізації зумовлена значним вмістом мінеральних речовин та органічних сполук, що не видаляються повністю у процесі очищення соків. Вміст калію становить 0,8-1,5%, кальцію - 0,1-0,3%, магнію - 0,05-0,15%, фосфору - 0,02-0,05%, заліза - 5-15 мг/100 г. Серед мікроелементів присутні цинк (2-5 мг/100 г), мідь (0,5-1,5 мг/100 г), марганець (1-3 мг/100 г). Відтоки першої кристалізації містять вітаміни групи В: тіамін (В<sub>1</sub>) - 0,01-0,03 мг/100 г, рибофлавін (В<sub>2</sub>) - 0,02-0,05 мг/100 г, ніацин (В<sub>3</sub>) - 0,3-0,8 мг/100 г, піридоксин (В<sub>6</sub>) - 0,02-0,06 мг/100 г, пантотенову кислоту (В<sub>5</sub>) - 0,1-0,3 мг/100 г. Амінокислотний склад відтоків першої кристалізації представлений переважно глютаміною, аспарагіною, аланіном, гліцином та серином. Загальний вміст вільних амінокислот становить 0,3-0,8% до маси сухих речовин. Також у складі присутні бетаїн (0,5-1,2%), органічні кислоти (молочна, оцтова, щавлева, лимонна) та азотисті сполуки небілкової природи.

*Проведення експерименту.* Відповідно до методики проведення експерименту (розділ 2) відтік першої кристалізації розводили очищеною водою до робочої концентрації 67 % та додавали до білого цукру у кількості 10% та 15% до маси цукру з метою створення двох тестових зразків. Суміш перемішували, формували у силіконових формах та висушували в термостаті за температури 50-60°С.

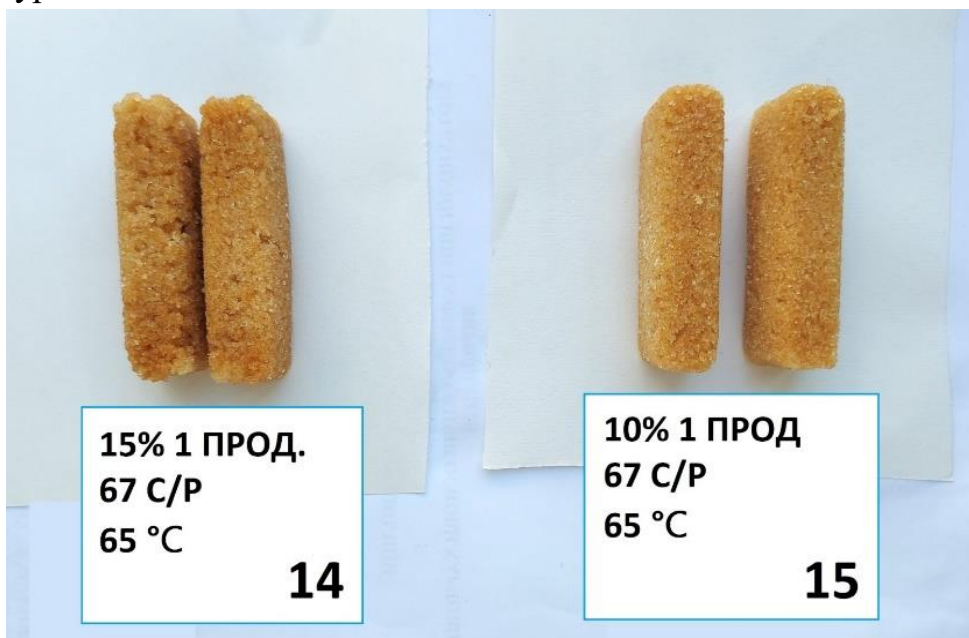


Рисунок 3.2 - Пресований цукор, одержаний при додаванні продукту першої кристалізації у кількості 10% та 25%

За результатами експерименту, було отримано збагачений цукор з

наступними характеристиками (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Вміст біологічно активних речовин у пресованому цукрі, одержаному з додаванням відтоку першої кристалізації

Показник	Наявність в першому продукті	Перший продукт		Збагачений Цукор	Перший продукт		Збагачений Цукор
		Кількість, %	СР, %		Кількість, %	СР, %	
Калій (%)	1,15	10%	67%	0.072	15%	67%	0.11
Кальцій(%)	0,20	10%	67%	0.013	15%	67%	0.018
Магній(%)	0,10	10%	67%	0.006	15%	67%	0.009
Натрій (%)	0,20*	10%	67%	0.013	15%	67%	0.018
Фосфор(%)	0,035	10%	67%	0.0022	15%	67%	0.0032
Залізо(мг/100 г)	10,0	10%	67%	0.63	15%	67%	0.91
Цинк (мг/100 г)	3,5	10%	67%	0.22	15%	67%	0.32
Мідь (мг/100 г)	1,0	10%	67%	0.063	15%	67%	0.091
Марганець(мг/100 г)	2,0	10%	67%	0.13	15%	67%	0.18
Хром (мг/100 г)	0,09*	10%	67%	0.006	15%	67%	0.008
Тіамін (В <sub>1</sub> )(мг/100 г)	0,02	10%	67%	0.0013	15%	67%	0.0018
Рибофлавін (В <sub>2</sub> ) (мг/100 г)	0,035	10%	67%	0.0022	15%	67%	0.0032
Ніацин (В <sub>3</sub> ) (мг/100 г)	0,55	10%	67%	0.035	15%	67%	0.050
Пантотенова к-та (В <sub>5</sub> )(мг/100 г)	0,20	10%	67%	0.013	15%	67%	0.018
Піридоксин (В <sub>6</sub> ) (мг/100 г)	0,04	10%	67%	0.0025	15%	67%	0.0037
Фолієва к-та (В <sub>9</sub> ) (мг/100 г)	0,006	10%	67%	0.0004	15%	67%	0.0005
Вільні амінокислоти (%)	0,55	10%	67%	0.035	15%	67%	0.050
Бетаїн (%)	0,85	10%	67%	0.053	15%	67%	0.078

*Вміст біологічно активних речовин в готовому продукті.* Вміст калію -макроелементу, що регулює водно-сольовий баланс та роботу серцево-судинної системи - становить 72 мг/100 г при 10% першого продукту та 110 мг/100 г при 15%. Вміст заліза, необхідного для кровотворення та транспорту кисню, досягає 0,63 мг/100 г та 0,91 мг/100 г відповідно. Серед мікроелементів також присутній цинк (0,22-0,32 мг/100 г), що бере участь в імунних реакціях та синтезі білків. Вміст ніацину (В<sub>3</sub>) становить 0,035-0,050

мг/100 г. Бетаїн, що проявляє гепатопротекторні властивості, міститься у кількості 53 мг/100 г при 10% та 78 мг/100 г при 15% першого продукту. Вміст вільних амінокислот становить 35-50 мг/100 г.

*Органолептична оцінка* отриманих зразків показала наступні результати: колір готового продукту - світло-коричневий, рівномірний, без плям та вкраплень; запах - м'який фруктовий, з ароматом нерафінованого тростинного цукру; смак - солодкий з легкою гірчинкою у післясмаку. Зовнішній вигляд - однорідна маса без сторонніх включень.

Консистенція готового продукту суттєво залежала від режиму висушування. При помірному висушуванні зразки характеризувалися м'якою консистенцією, легко розділялися ножом, при цьому добре тримали задану форму. При більш інтенсивному висушуванні продукт набував твердої монолітної структури, яку важко було розділити на частини.

### **3.3 Використання ферментативного гідролізу у створенні збагаченого коричневого цукру**

Необхідність проведення процесу інверсійного розкладання сахарози, що входить до складу відтоків кристалізації перед їх використанням як збагачувальної добавки зумовлена кількома факторами. По-перше, відтоки кристалізації характеризуються високою в'язкістю та схильністю до кристалізації сахарози при зберіганні, що ускладнює їх рівномірне розподілення по поверхні кристалів цукру та може призводити до утворення грудочок у готовому продукті. Інвертний розчин, що містить суміш глюкози та фруктози, має значно нижчу схильність до кристалізації завдяки взаємному гальмуванню кристалізації моносахаридів, що забезпечує кращі технологічні властивості збагачувальної добавки.

По-друге, м'які умови ферментативного гідролізу дозволяють зберегти мінеральні речовини та вітаміни, присутні у вихідних відтоках кристалізації. Втрати вітамінів групи В при ферментативній інверсії не перевищують 10-15%, тоді як при кислотному гідролізі вони можуть досягати 50-70% [48].

### **3.4. Технологічні характеристики коричневого збагаченого цукру при використанні гідролізованого кристалізаційного відтоку I продукту**

Основну серію експериментів проводили з використанням інвертного цукрового розчину, отриманого ферментативним гідролізом відтоку першої кристалізації (рис. 3.3).

Характеристику інвертного сиропу продукту першої кристалізації надано в таблиці 3.4. Гідролізований кристалізаційний відтік першого продукту характеризувався вмістом сухих речовин 57%, зольністю 135

мг/100г, кольоровістю 0,800 (при  $\lambda=560$  нм, кювета 3 см, оптична густина 0,800), вмістом редукувальних речовин 90 %, рН 5,84.

Таблиця 3.3

Характеристика інвертного сиропу продукту першої кристалізації

Сировина	СР %	Зола, мг/100г	Кольоровість, од. опт. густ.	рН
Продукт І кристалізації інвертований	57	0,135	3467.8 (D=.800; $\lambda = 560$ ; L= 3)	5.839

Для одержання коричневого цукру, насиченого ферментованим відтоком першої кристалізації, було проведено серію експериментів, відповідно до принципової схеми (рис. 3.3).

*Органолептична оцінка.* отриманих зразків збагаченого цукру показала наступні результати. Колір готового продукту - світло-коричневий, рівномірний, інтенсивність забарвлення зростала пропорційно до кількості внесеного сиропу. Запах - легкий карамельний аромат з приємними фруктовими нотками, характерний для нерафінованих цукрів, в тому числі тростинного. Смак - солодкий, м'який, без виразної гірчинки, з легким фруктовим присмаком, що добре поєднується з солодкістю продукту.

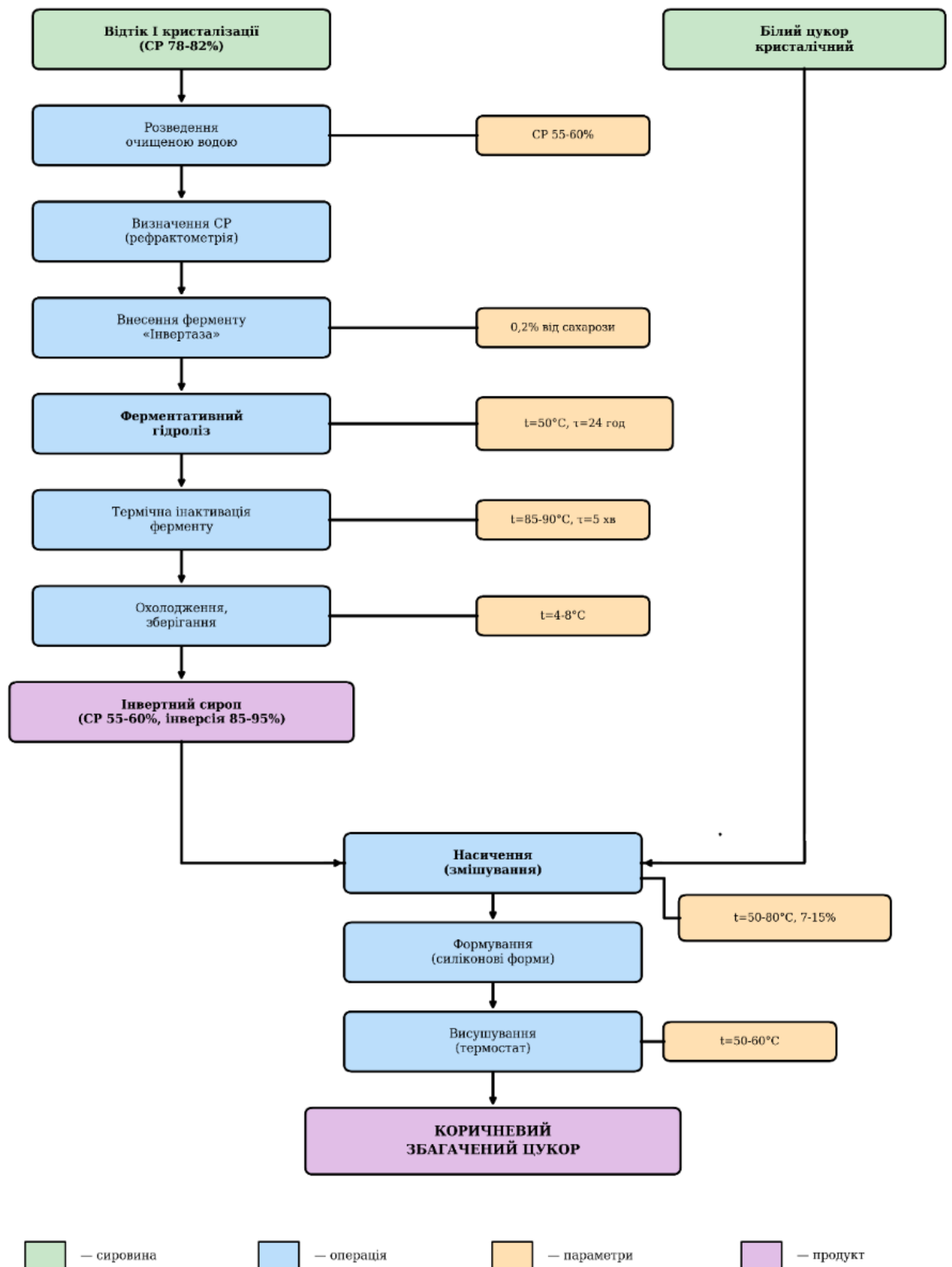


Рисунок 3.3 - Принципова схема процесу одержання коричневого цукру з-за допомогою ферментованого першого кристалізаційного відтоку.

В таблиці 3.4. представлено результати аналізів технологічних

показників коричневого цукру, одержаного з додаванням ферментованого відтоку першої кристалізації.

Таблиця 3.4

Технологічні показники коричневого цукру, одержаного з додаванням ферментованого відтоку першої кристалізації.

№	Вміст СР, %	Кількість ГВ, %	Масова частка редуковальних речовин (РР) у коричневому збагаченому цукрі, %	Масова частка сахарози у коричневому збагаченому цукрі, %	Кольоровість, од. опт. густ.	Зола	рН
3	59%	7%	3,7	95,9	339,07	0.68	6.8
4	71%	7%	4.4	95.1	382,07	0.77	6.8
7	59%	13% г	6.9	92.7	614,5	0.96	6.6
8	71%	13% г	8.3	91.3	686,8	1.24	6.6
9	54.9%	10% г	4.9	94.6	323,9	0,82	6.7
10	75.1%	10%	6.7	92.3	387,2	0,97	6.7

Консистенція збагаченого цукру характеризувалася рядом позитивних технологічних властивостей. Продукт добре формувався у силіконових формах навіть за умов атмосферного висушування, проте все ж потребував примусової конвекції, інакше спостерігалися процеси розкладання сахарози залишками ферменту.

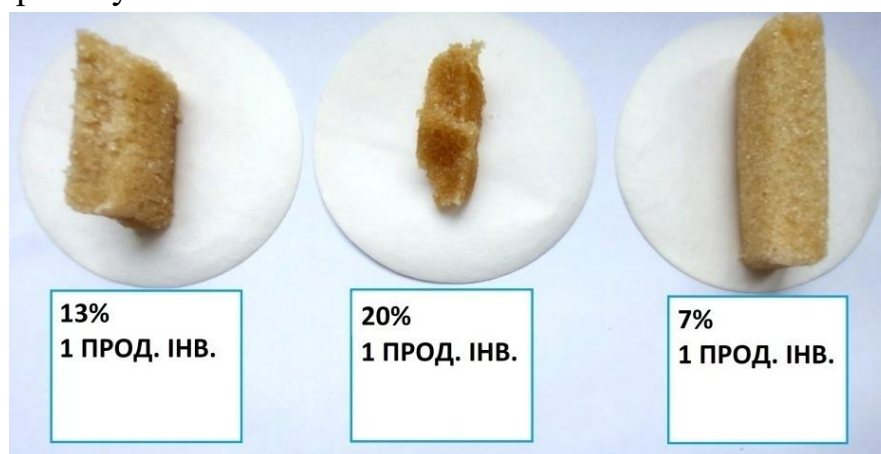


Рисунок 3.4 - Пресований цукор, одержаний при ферментованого відтоку першої кристалізації м'яса у кількості 7%, 13% та 20%

Готові вироби зберігали задану форму після виймання з форм та не розсипалися при помірному механічному впливі. Характерною особливістю зразків, насичених інвертним сиропом першої кристалізації, була здатність тривалий час зберігати вологість та м'яку консистенцію. Збереження м'якої консистенції пояснюється гігроскопічними властивостями інвертного сиропу, зокрема фруктози, яка здатна утримувати вологу та запобігати пересушуванню продукту. Водночас ця властивість потребує врахування при визначенні умов зберігання готового продукту.

За сукупністю органолептичних показників збагачений інвертним сиропом продукт першої кристалізації цукор переважав усі інші досліджені зразки. Оптимальне поєднання приємного карамельно-фруктового аромату, м'якого смаку без гірчинки та стабільної консистенції робить саме цей варіант збагачення найбільш перспективним для подальшого впровадження у виробництво.

### 3.5. Дослідження технологічних параметрів одержання коричневого пресованого цукру збагаченого гідролізованим відтоком II кристалізації

*Відтоки другої кристалізації* (зелена патока II продукту, другий відтік) утворюються при центрифугуванні утфелю II кристалізації. У подальшому технологічному процесі вони використовуються для уварювання утфелю III кристалізації.

Технологічні показники гідролізованого відтоку представлено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

#### Характеристика інвертного сиропу продукту другої кристалізації

Сировина	Масова частка сухих речовин %	Масова частка сахарози, %	Масова частка РР, %	Зола, % на 100 СР	Кольоровість, од. опт. густ. ICUMSA	pH
Продукт II кристалізації інвертований	58%	29,4%	14,7%	0,12	4500 (D = .713; λ = 560; V= 1)	7.3

Порівняно з відтоками першої кристалізації, відтоки другої кристалізації характеризуються нижчою чистотою та вищим вмістом нецукрів. Фізико-хімічні показники: вміст сухих речовин 80-85%, масова частка сахарози 54-58 %, чистота 72-76 %, вміст редукуючих речовин 1,0-2,5%, pH 6,0-7,0. Кольоровість становить 8000-15000 одиниць ICUMSA, в'язкість при 60°C - 250-450 мПа, густина при 20°C - 1,40-1,44 г/см<sup>3</sup>.

Вміст мінеральних речовин у відтоках другої кристалізації є вищим порівняно з відтоками першої кристалізації внаслідок концентрування нецукрів у процесі багатоступеневої кристалізації. Вміст калію досягає 1,2-2,0%, кальцію - 0,15-0,4%, магнію - 0,08-0,2%, фосфору - 0,03-0,08%, заліза - 8-20 мг/100 г. Концентрація мікроелементів також зростає: цинку - 3-8 мг/100 г, міді - 0,8-2,0 мг/100 г, марганцю - 2-5 мг/100 г.

Вміст вітамінів групи В у відтоках другої кристалізації: тіамін (В<sub>1</sub>) - 0,02-0,05 мг/100 г, рибофлавін (В<sub>2</sub>) - 0,03-0,08 мг/100 г, ніацин (В<sub>3</sub>) - 0,5-1,2 мг/100 г, піридоксин (В<sub>6</sub>) - 0,03-0,08 мг/100 г. Загальний вміст вільних амінокислот становить 0,5-1,2% до маси сухих речовин. Вміст бетаїну досягає 0,8-1,8%, що робить відтоки другої кристалізації потенційно ціннішим джерелом мікронутрієнтів.

Водночас підвищений вміст барвних речовин (меланоїдинів, продуктів карамелізації, продуктів лужного розкладання редукуючих речовин) та більш виражений присмак теоретично можуть обмежувати застосування відтоків другої кристалізації для збагачення цукру порівняно з відтоками першої кристалізації, про які детально йдеться нижче.

*Проведення експерименту.* Частково інвертований сироп (з вмістом РР 33% до загального вмісту цукрів) отримували шляхом ферментативної обробки протягом 8 годин з подальшою термічною інактивацією ферменту інвертази за методикою, наведеною у Розділі 2.

Дослідження часткової інверсії відтоку другої кристалізації проводилося з метою встановлення впливу ступеня гідролізу сахарози на органолептичні та фізико-хімічні властивості готового продукту.

Для одержаного пресованого збагаченого цукру використовували частково ферментований відтік з вмістом сухих речовин 58%, вмістом РР речовин 33 %, у кількості 13% до маси цукру при температурі 56°C, що є середнім значенням згідно таблиці 2.4 «Рівні факторів та інтервали варіювання». Після змішування продукт висушували до нормативної вологості. За результатами експерименту, було отримано збагачений цукор з наступними характеристиками, представленими у таблиці 3.6.

*Вміст біологічно активних речовин в готовому продукті.* Важливо зазначити, що процес інверсії сахарози являє собою гідролітичне розщеплення дисахариду на моносахариди - глюкозу та фруктозу. Ця реакція є селективною і відбувається виключно за рахунок молекули сахарози, не зачіпаючи інших компонентів хімічного складу відтоків.

Таблиця 3.6

Технологічні показники пресованого коричневого цукру з додаванням ферментованого відтоку другої кристалізації

Кількість гідролізованого кристалізаційного відтоку (ГКВ), % до маси кристалічного цукру	Зола, мг/100 г	Кольоровість, од. опт. густ. $\lambda$ 560 нм	Масова частка редукувальних речовин (РР) у коричневому збагаченому цукрі, %	Масова частка нецукрів, %	Масова частка сахарози у коричневому збагаченому цукрі, %
5	0.065	680	0,95	0,72	98,05
7	0.1	1020	1,33	1,02	97,45
13	0.2	1956	2,48	1,88	95,4

Мінеральні речовини (калій, кальцій, магній, залізо, цинк тощо) присутні у розчині у вигляді іонів або комплексних сполук і не вступають у хімічні реакції за умов ферментативного гідролізу. Вітаміни групи В, амінокислоти та бетаїн також залишаються стабільними при температурах та значеннях рН, що застосовуються для інверсії. Таким чином, при розрахунку вмісту біологічно активних речовин у збагаченому цукрі правомірно використовувати дані щодо мінерального та вітамінного складу вихідного неінвертованого продукту кристалізації.

Таблиця 3.7

Вміст біологічно активних речовин в коричневому цукрі, насиченим продуктом другої кристалізації

Показник	Другий продукт інвертований на 33%		Збагачений цукор
	Кількість, %	С/Р, %	
Калій (%)	13%	59%	0.11
Кальцій (%)	13%	59%	0.02
Магній (%)	13%	59%	0.010
Натрій (%)	13%	59%	0.02
Фосфор (%)	13%	59%	0.0039
Залізо (мг/100 г)	13%	59%	1.00
Цинк (мг/100 г)	13%	59%	0.39
Мідь (мг/100 г)	13%	59%	0.10
Марганець (мг/100 г)	13%	59%	0.25
Хром (мг/100 г)	13%	59%	0.009
Тіамін (В <sub>1</sub> ) (мг/100 г)	13%	59%	0.0025
Рибофлавін (В <sub>2</sub> ) (мг/100 г)	13%	59%	0.0039
Ніацин (В <sub>3</sub> ) (мг/100 г)	13%	59%	0.06

Показник	Другий продукт інвертований на 33%		Збагачений цукор
	Кількість, %	С/Р, %	
Пантотенова к-та (В5)(мг/100 г)	13%	59%	0.02
Піридоксин (В6) (мг/100 г)	13%	59%	0.0039
Фолієва к-та (В9) (мг/100 г)	13%	59%	0.0006
Вільні амінокислоти (%)	13%	59%	0.06
Бетаїн (%)	13%	59%	0.09

Збагачений другим продуктом кристалізації цукор (13% при СР 59%) містить 110 мг/100 г калію, 1,0 мг/100 г заліза, 0,39 мг/100 г цинку та 90 мг/100 г бетаїну. Порівняно з першим продуктом, вміст мінеральних речовин вищий приблизно у 1,4-1,6 рази, що зумовлено концентруванням нецукрів у процесі багатоступеневої кристалізації.

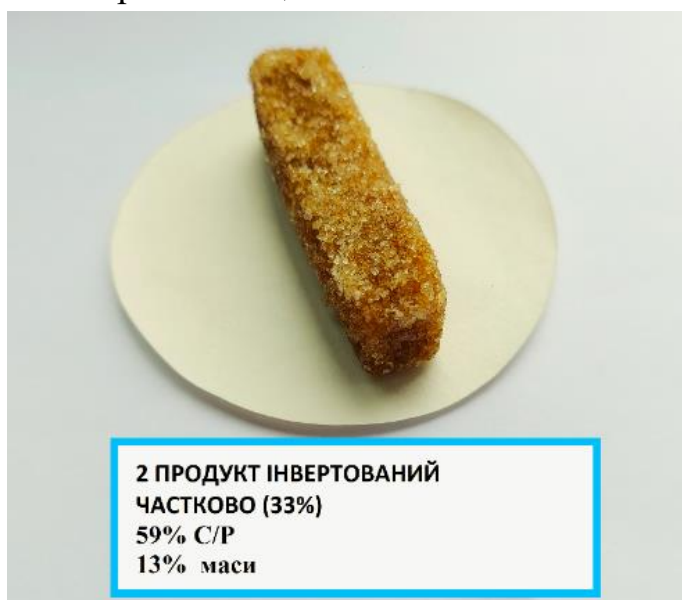


Рисунок 3.5 - Пресований цукор, одержаний при додаванні частково ферментованого сиропу відтоку другої кристалізації у кількості 13%

*Органолептичні показники.* Під час органолептичної оцінки готового продукту встановлено, що отримані зразки пресованого цукру мали виражений темно-коричневий колір. Присутній сторонній «рослинний» запах, нехарактерний для цукру білого, який за ознаками схожий до запаху цукру, насиченим мелясою. Смак солодкий, проте з відчутним стороннім присмаком. Консистенція задовільна - продукт добре формується у монолітну структуру.

Висока кольоровість кристалізаційного відтоку II продукту зумовлена значним вмістом меланоїдинів у кристалізаційному відтоку, як наслідку реакції Майяра - комплексу хімічних перетворень між редуруючими

цукрами та амінокислотами за підвищених температур з утворенням темнозбарвлених високомолекулярних сполук.

На підставі продемонстрованих продуктом органолептичних властивостей встановлено можливість його застосування для виготовлення коричневого цукру з високим вмістом макро- та мікронутрієнтів.

На другому етапі роботи проведено експеримент з насичення цукру сиропом, ферментованим повністю (90 %) (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8

Технологічні показники пресованого коричневого цукру з додаванням ферментованого відтоку другої кристалізації (інвертованого на 90%)

Кількість гідролізованого кристалізаційного відтоку (ГКВ), % до маси кристалічного цукру	Зола	Кольоровість, од. опт. густ. $\lambda 560$ нм	Масова частка редукувальних речовин (РР) у коричневому збагаченому цукрі, %	Масова частка сахарози у коричневому збагаченому цукрі, %	pH
5	0.065	404.64	2,65	96,05	7.02
7	0.1	457.79	3,71	95,05	7,1
13	0.2	766.55	6,9	90,8	7,06

*Вміст біологічно активних речовин в готовому продукті.* Аналогічний наведеному в таблиці 3.5. Перерахунок та порівняння вмісту біологічно активних речовин для центральної точки плану експерименту (10%, СР 65%) для порівняння трьох варіантів збагачення наведений у нижче.



Рисунок 3.6 - Пресований цукор, одержаний при додаванні ферментованого відтоку II кристалізації у кількості 13%

*Органолептична оцінка.* Органолептична оцінка виявила насичений фруктовий запах та смак, проте з ледь відчутною гірчинкою у післясмаку. Колір готового продукту - виражений коричневий, значно темніший порівняно зі зразками, насиченими продуктом першої кристалізації але світліший, ніж у випадку насичення мелямою. Консистенція тверда, кам'яноподібна, продукт важко піддається механічному поділу.

Фізико-хімічні показники підтвердили суттєву різницю між першим та другим продуктами кристалізації, про що детально зазначено у відповідному розділі. При однаковій кількості сиропу (13% до маси цукру) кольоровість зразків, насичених другим продуктом, становила 3.341 од. ( $\lambda 420$ ), що у 2,96 рази перевищує показник першого продукту (1.129 од.). Зольність досягла 2.24 мг проти 0.96 мг для першого продукту - зростання у 2,33 рази. Показник рН становив 7.2 проти 6.6, що пояснюється буферною дією амінокислот та органічних кислот у зв'язаному стані.

Підвищена зольність другого продукту теоретично забезпечує вищу біологічну цінність збагаченого цукру як джерела мінеральних речовин. Однак це супроводжується непропорційним зростанням кольоровості та погіршенням органолептичних характеристик - появою гірчинки та надмірно темного забарвлення, що не відповідає споживчим очікуванням щодо цукру.

На підставі порівняльного аналізу встановлено, що використання інвертного сиропу з продукту другої кристалізації є менш доцільним порівняно з першим продуктом. Високий вміст меланоїдинів, продуктів карамелізації та лужного розкладання редукуючих речовин зумовлює неприйнятні органолептичні характеристики готового продукту.

### **3.6 Порівняльний аналіз складу коричневого цукру, одержанного за різними способами**

У процесі дослідження було послідовно проаналізовано п'ять варіантів сировини для збагачення білого цукру: мелясу, продукт першої кристалізації неінвертований, продукт першої кристалізації повністю інвертований, продукт другої кристалізації частково інвертований (33%) та продукт другої кристалізації повністю інвертований.

#### **3.6.1 Порівняння вмісту біологічноактивних речовин в насичених кристалізаційними відтоками коричневих цукрах**

Для порівняння використано дані з таблиць з результатами експериментів, що надані вище. Для коректного порівняння дані було перераховано для центральної точки плану експерименту - СР 65%, температура 65°C, кількість сиропу 10%:

- Меляса (10%, СР 65%) -значення використано без змін;
- Продукт 1-ї кристалізації(10%, СР 67%) – значення було перераховано для СР 65% ;
- Продукт 1-ї кристалізації(13%, СР 59%) - перераховано для 10% маси насичення та СР 65%.

Для перерахунку між різними параметрами використовується співвідношення коефіцієнтів:

$$C_{\text{нов}} = C_{\text{стар}} \times (k_{\text{нов}} / k_{\text{стар}})$$

де  $k = (K \times \text{СР}) / (10000 + K \times \text{СР})$ .

Коефіцієнти:

$$K(10\%, 65\%) = 650/10650 = 0,06103$$

$$K(10\%, 67\%) = 670/10670 = 0,06279$$

$$K(13\%, 59\%) = 767/10767 = 0,07123$$

Перерахунок:

$$\text{з } 10\%, 67\% \text{ (1-й продукт) на } 10\%, 65\%: 0,06103/0,06279 = 0,9720$$

$$\text{з } 13\%, 59\% \text{ (2-й продукт) на } 10\%, 65\%: 0,06103/0,07123 = 0,8568$$

З-за допомогою нових коефіцієнтів вміст БАР у збагачених коричневих цукрах вираховується за формулою:

$$C_{\text{зб}} = (K * \text{СР} * \%_{\text{сир}}) / (10000 + K * \text{СР})$$

Результуюча таблиця має наступний вигляд (таблиця 3.9):

Таблиця 3.9

Порівняння вмісту БАР у коричневих цукрах, насичених продуктами кристалізації

Показник	Одиниці	Вміст в коричневому цукрі		
		Насиченим мелясою	Насиченим мелясою 2-м продуктом	Насиченим 1-м продуктом
Калій	%	0.20	0.094	0.070
Кальцій	%	0.020	0.017	0.013
Магній	%	0.010	0.009	0.006
Натрій	%	0.040	0.017	0.013
Фосфор	%	0.004	0.003	0.002
Залізо	мг/100 г	1.98	0.86	0.61
Цинк	мг/100 г	0.61	0.33	0.21

Показник	Одиниці	Вміст в коричневому цукрі		
		Насиченим м'ясясою	Насиченим м'ясясою 2-м продуктом	Насиченим 1-м продуктом
Мідь	мг/100 г	0.15	0.086	0.061
Марганець	мг/100 г	0.40	0.21	0.13
Хром	мг/100 г	0.020	0.008	0.006
Тіамін (В <sub>1</sub> )	мг/100 г	0.006	0.002	0.001
Рибофлавін (В <sub>2</sub> )	мг/100 г	0.006	0.003	0.002
Ніацин (В <sub>3</sub> )	мг/100 г	0.12	0.051	0.034
Пантотенова к-та (В <sub>5</sub> )	мг/100 г	0.040	0.017	0.013
Піридоксин (В <sub>6</sub> )	мг/100 г	0.008	0.003	0.002
Фолієва к-та (В <sub>9</sub> )	мг/100 г	0.001	0.0005	0.0004
Бетаїн	%	0.27	0.077	0.052
Вільні амінокислоти	%	0.11	0.051	0.034

За вмістом біологічно активних речовин при однакових параметрах насичення (10%, СР 65%) м'ясяса забезпечує найвищі показники: калій 0.20% (200 мг/100 г), залізо 1.98 мг/100 г, бетаїн 0.27% (270 мг/100 г). Другий продукт займає проміжне положення: калій 0.094%, залізо 0.86 мг/100 г, бетаїн 0.077%. Перший продукт має найнижчі показники: калій 0.070%, залізо 0.61 мг/100 г, бетаїн 0.052%.

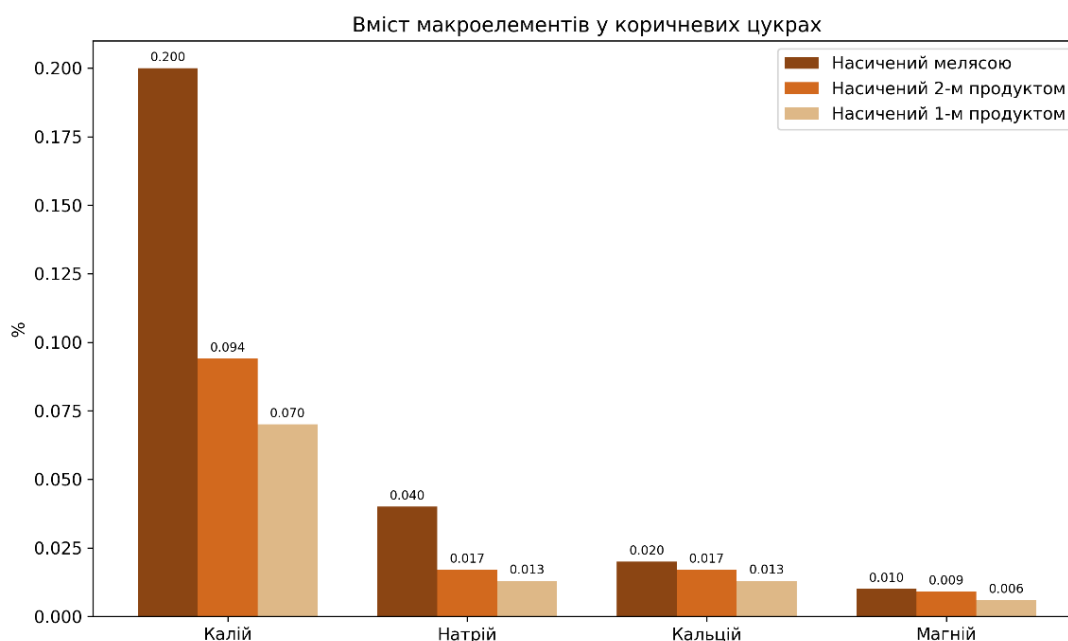


Рисунок 3.7 - Вміст макроелементів у коричневих цукрах, насичених відтоками кристалізації

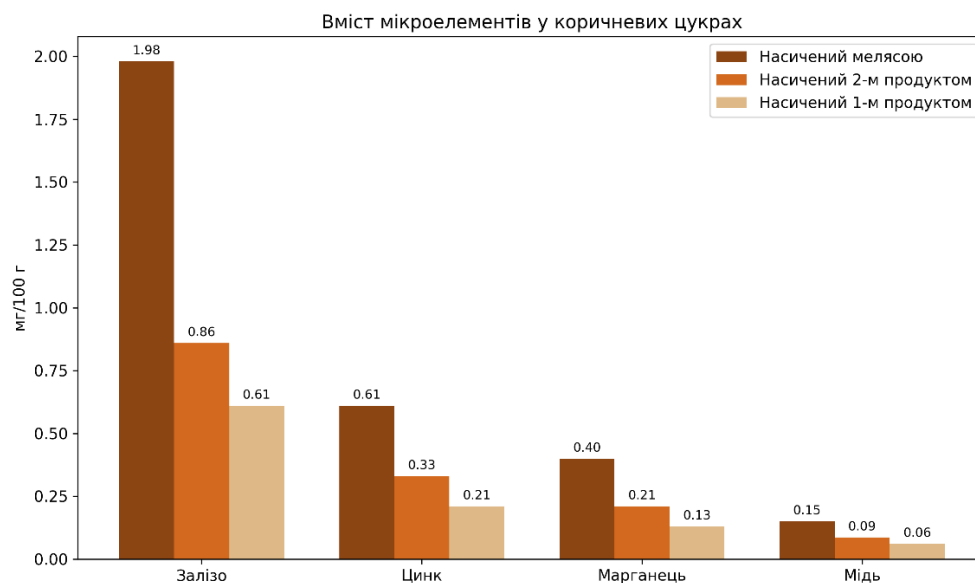


Рисунок 3.8 -Вміст мікроелементів у коричневих цукрах, насичених відтоками кристалізації

Однак вибір оптимальної сировини визначається не лише біологічною цінністю, а й органолептичними характеристиками. Меляса та другий продукт забезпечують вищий вміст БАР, але зумовлюють неприйнятні споживчі властивості (гіркий післясмак, надмірна кольоровість). Перший продукт, попри нижчий вміст БАР, забезпечує прийнятний баланс між біологічною цінністю та споживчими характеристиками.

### 3.6.2. Порівняння насичених кристалізаційними відтоками коричневих цукрів за органолептичними та фізичними характеристиками

Мелясу у якості сировини для насичення було відкинуто на першому етапі дослідження через неприйнятні органолептичні характеристики готового продукту: виражений гіркий післясмак, зумовлений високим вмістом бетаїну, сапонінів та меланоїдинів, надмірно темне забарвлення (кольоровість вихідної сировини >20000 од. ICUMSA), а також гігроскопічність та нестабільність при зберіганні.

Неінвертований продукт першої кристалізації було відкинуто на підставі порівняльного аналізу з інвертованим аналогом. Встановлено, що інвертний сироп забезпечує більш рівномірний розподіл збагачувальної добавки, стабільнішу консистенцію готового продукту та кращі органолептичні характеристики. На цій підставі подальші експерименти з неінвертованими відтоками було припинено.

Продукт другої кристалізації частково інвертований (33%) було відкинуто через наявність незадовільних органолептичних характеристик.

Таким чином, для фінального порівняння залишилися два варіанти: продукт першої кристалізації повністю інвертований та продукт другої кристалізації повністю інвертований. Порівняння проводили за результатами експериментів у центральній точці плану (CP 65%, температура 65°C, кількість сиропу 10%) наведено у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Порівняння фізико-хімічних показників збагаченого цукру

Параметр	1-й продукт (повн. інв.)	2-й продукт (частк. інв. 33%)
Кольоровість, $\lambda 420$	1,129	3,341
Кольоровість, $\lambda 560$	314,6	745,1
Зольність, мг	0,96	2,24
pH	6,6	7,2
Сухі речовини, %	16,0	17,0

Кольоровість збагаченого цукру з використанням другого продукту перевищує показники першого продукту у 2,98 рази ( $\lambda 420$ ) та 2,38 рази ( $\lambda 560$ ). Це зумовлено вищим вмістом меланоїдинів, карамеланів та продуктів лужного розкладання редукуючих речовин у відтоках другої кристалізації.

Зольність продукту з другим відтоком вища у 2,38 рази (1,95 проти 0,82 мг), що свідчить про більший вміст мінеральних речовин. Однак підвищена зольність супроводжується непропорційним зростанням кольоровості та погіршенням органолептичних характеристик - появою гірчинки та надмірно темного забарвлення.

Органолептична оцінка зразків показала, що цукор, збагачений першим продуктом, характеризується приємним карамельно-фруктовим смаком без сторонніх присмаків, світло-коричневим кольором та стабільною консистенцією. Натомість зразки з другим продуктом мають виражену гірчинку, темно-коричневий колір та надмірно тверду, кам'яноподібну структуру.

Таким чином, оптимальною сировиною для збагачення білого цукру є інвертний сироп з продукту першої кристалізації. Він забезпечує прийнятний баланс між біологічною цінністю продукту та його споживчими характеристиками.

### 3.6.3 Відповідність отриманого продукту міжнародним стандартам

Для оцінки якості отриманого коричневого збагаченого цукру було проведено порівняння його показників з вимогами міжнародного стандарту Codex Alimentarius CXS 212-1999 «Standard for Sugars» [47]. Згідно з цим стандартом, м'який коричневий цукор визначається як дрібнозернистий очищений вологий цукор світло- або темно-коричневого кольору з вмістом

сахарози не менше 88,0%.

У Таблиці 3.11 наведено порівняння фізико-хімічних показників коричневого цукру, збагаченого інвертним сиропом першого продукту кристалізації, з нормативними вимогами стандарту Codex Alimentarius.

Таблиця 3.11

Відповідність збагаченого цукру вимогам CXS 212-1999

Показник	Норма CXS 212-1999	Отриманий продукт	Відповідність
Сахароза + інвертний цукор, % м/м	≥ 88,0	98,5–99,2	Відповідає
Вміст інвертного цукру, % м/м	≤ 12,0	4,5–8,2	Відповідає
Сульфатна зола, % м/м	≤ 3,5	0,05–0,12	Відповідає
Втрати при висушуванні, % м/м	≤ 4,5	0,8–1,5	Відповідає

Як видно з Таблиці 3.9, отриманий коричневий збагачений цукор повністю відповідає вимогам міжнародного стандарту Codex Alimentarius CXS 212-1999 за всіма нормованими показниками. Вміст сахарози та інвертного цукру (98,5–99,2%) значно перевищує мінімальну норму (88,0%), що свідчить про достатню чистоту готового продукту. Зольність та вологість продукту також відповідають встановленим нормам [50].

Таким чином, розроблена технологія дозволяє отримувати коричневий збагачений цукор, який за фізико-хімічними показниками відповідає категорії «Softbrown sugar» згідно з міжнародною класифікацією та може бути реалізований як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

### 3.7 Оптимізація процесу створення коричневого цукру шляхом використання гідролізованих відтоків I та II кристалізації

Під оптимізацією розуміють процес пошуку найкращих характеристик та співвідношень параметрів системи (зокрема, виробничих і технологічних процесів). Для коректної постановки оптимізаційної задачі необхідно визначити: цільову функцію; керовані змінні (температурний режим, витрати сировини при переробці), які впливають на ефективність; математичний опис процесу; обмежувальні умови, обумовлені економічними факторами, технічними можливостями обладнання та конструктивними особливостями.

На підставі аналізу літературних джерел обґрунтовано актуальність розширення асортименту цукрової продукції шляхом збагачення білого цукру біологічно активними речовинами побічних продуктів бурякоцукрового виробництва. Встановлено, що відтоки кристалізації та меляса містять значні кількості мінеральних речовин (калій, кальцій, магній, залізо), вітамінів групи B, бетаїну та вільних амінокислот.

Досліджено п'ять варіантів сировини для збагачення білого цукру:

мелясу, відтік першої кристалізації (неінвертований та повністю інвертований), відтік другої кристалізації (частково та повністю інвертований). Встановлено недоцільність використання меляси внаслідок неприйнятних органолептичних характеристик готового продукту: вираженого гірко-післясмаку, надмірно темного забарвлення та нестабільності при зберіганні.

Доведено переваги ферментативного гідролізу відтоків кристалізації препаратом «Інвертаза» порівняно з використанням неінвертованої сировини. Інвертний сироп забезпечує рівномірніший розподіл збагачувальної добавки, стабільнішу консистенцію готового продукту та кращі органолептичні характеристики. Втрати вітамінів групи В при ферментативній інверсії не перевищують 10–15%.

Визначено оптимальну сировину для збагачення білого цукру — повністю інвертований сироп відтоку першої кристалізації. Порівняно з відтоком другої кристалізації, даний продукт забезпечує прийнятний баланс між біологічною цінністю та споживчими характеристиками: приємний карамельно-фруктовий смак, світло-коричневий колір, відсутність гірко-післясмаку.

На основі експериментальних досліджень визначено рівняння регресії, які описують залежність основних показників якості коричневого збагаченого цукру від технологічних параметрів насичення відтоком першої кристалізації: кольоровості, вмісту золи та масової частки редукувальних речовин. Проведений регресійний аналіз дозволив встановити математичні залежності між керованими факторами процесу та цільовими функціями якості продукту. Адекватність розроблених математичних моделей підтверджено статистичними критеріями, що дозволяє рекомендувати їх для практичного застосування при оптимізації виробництва коричневого збагаченого цукру. Програма розрахунку наведена у додатку Б.

За результатами математичного моделювання визначено оптимальні технологічні параметри процесу збагачення: вміст сухих речовин у сиропі 65%, температура процесу 65°C, кількість збагачувальної добавки 10% до маси цукру. За даних умов готовий продукт характеризується кольоровістю 765 од. ICUMSA, зольністю 0,095%, вмістом калію 72 мг/100 г, заліза 0,63 мг/100 г.

Розроблено принципову апаратно-технологічну схему виробництва коричневого збагаченого цукру, яка передбачає інтеграцію процесу ферментативного гідролізу та насичення у існуючу технологічну лінію цукрового заводу без суттєвих капітальних витрат.

Проведено аналіз небезпечних факторів та визначено критичні контрольні точки відповідно до принципів системи НАССР. Розроблено план

НАССР для технологічного процесу виробництва збагаченого цукру.

Економічний аналіз показав доцільність впровадження розробленої технології. Капітальні витрати становлять 1 650 000 грн, термін окупності — 16 днів роботи підприємства, очікуваний додатковий чистий прибуток — 36,7 млн грн за виробничий сезон при обсязі виробництва 8 040 т збагаченого цукру.

### 3.7.1 Використання повністю гідролізованих (90%) відтоків I кристалізації

*Проведення експерименту.* З метою створення екстремального референтного значення було створено один зразок з насиченням сировини 20 % поза планом експерименту.

Таблиця 3.12

Результати експериментів з насичення цукру інвертним сиропом першої кристалізації

№	X1 СухіРеч., %	X2 Темп., °C	X3 Кільк. у % / г	Кольоровість	Зола	Масовачастка редукувальних речовин (РР) у коричневому збагаченомуцукрі, %
1*	59%	56°C	7	339,07	0.68	3,7
2	71%	56°C	7	382,07	0.77	4.4
3	59%	74°C	7% / 3.50 г	363,07	0.68	3,7
4	71%	74°C	7% / 3.50 г	398,07	0.77	4.4
5*	59%	56°C	13% / 6.50 г	614,5	0.96	6.9
6	71%	56°C	13% / 6.50 г	686,8	1.24	8.3
7	59%	74°C	13% / 6.50 г	654,5	0.96	6.9
8	71%	74°C	13% / 6.50 г	736,4	1.24	8.3
9	54.9%	65°C	10% / 5.00 г	323,9	0.82	4.9
10	75.1%	65°C	10% / 5.00 г	387,2	0.97	6.7
11	65%	49.9°C	10% / 5.00 г	355	0.9	5.85
12	65%	80.1°C	10% / 5.00 г	394	0.9	5.9
13	65%	65°C	4.95% / 2.48 г	257	0,51	2.9
14	65%	65°C	15.04% / 7.52 г	612	1.36 мг	8.7
15	65%	65°C	10% / 5.00 г	368	0,85	5.7
16*	59%	65°C	20% / 10.00 г	789	1.40	10.4

Визначені рівняння регресії для зольності(1) кольоровості(2) редукувальних речовин (3):

$$f_1(x_1, x_2, x_3) := 0.5392 - 0.0039 \cdot x_2^2 - 0.2577 \cdot x_3^2 - 3.2959 \cdot x_3 - 0.0121 \cdot x_1 - 28.7987$$

$$f_2(x_1, x_2, x_3) := 4.9545 \cdot x_2 - 0.1051 \cdot x_1 + 31.1714 \cdot x_3 - 0.0354 \cdot x_2^2 - 2.6536 \cdot x_3^2 + 0.0333 \cdot x_1 \cdot x_3 - 261.0959$$

$$f_3(x_1, x_2, x_3) := 349.6294 \cdot x_2 - 6.3502 \cdot x_1 + 1685.6422 \cdot x_3 - 2.4803 \cdot x_2^2 - 138.9388 \cdot x_3^2 + 1.8095 \cdot x_1 \cdot x_3 - 16979.0304$$

Та обчислено оптимальні критерії виробництва насиченого цукру:

$$\text{OPT2}(\text{FF}, \text{nn}, \text{a11}, \text{a22}, \text{h11}, \text{h22}) = \begin{pmatrix} 0.033 \\ 69 \\ 7.65 \end{pmatrix}$$

### 3.8 Розроблення апаратурно-технологічної схеми

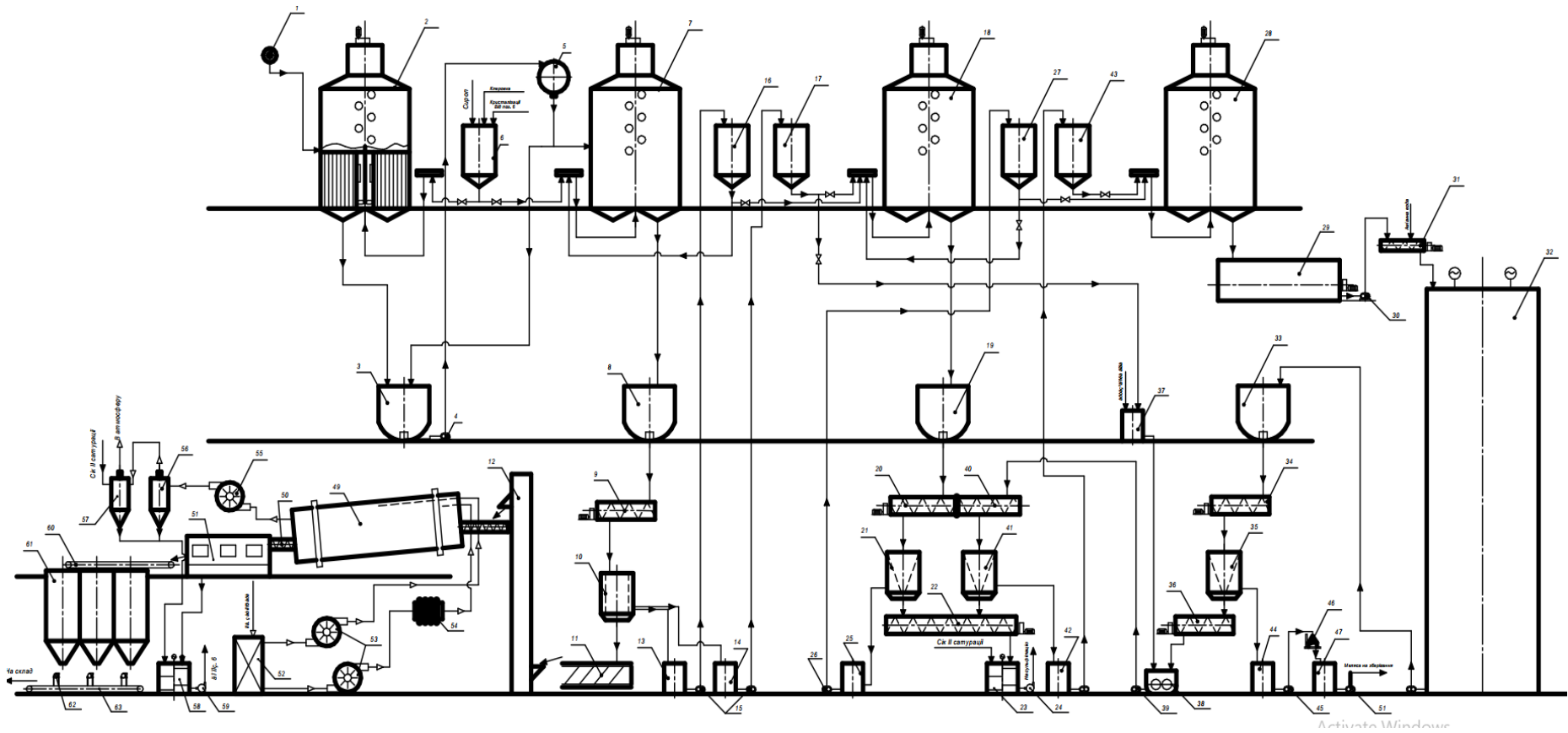


Рисунок 3.9 - Апаратурно-технологічна схема продуктового відділення з вузлом виробництва коричневого збагаченого цукру

- 1 Мішалка затравочного пасти
- 2 Вакуум-апарат маточного утфелю
- 3 Приймальна мішалка маточного утфелю
- 4 Насос маточного утфелю
- 5 Мішалка-дозатор маточного утфелю
- 6 Збірник сиропу з клеровками
- 7 Вакуум-апарат I кристалізації
- 8 Приймальна утфелемішалка I кристалізації
- 9 Утфелерозподільник
- 10 Центрифуги I кристалізації
- 11 Віброконвейєр
- 12 Елеватор цукру
- 13 Збірник I відтоку I кристалізації
- 14 Збірник II відтоку I кристалізації
- 15 Насоси I та II відтоків I кристалізації біля центрифуг
- 16 Збірник I відтоку I кристалізації біля вакуум-апаратів
- 17 Збірник II відтоку I кристалізації біля вакуум-апаратів
- 18 Вакуум-апарати II кристалізації
- 19 Утфелемішалки II кристалізації
- 20 Шнек розподільник
- 21 Центрифуги II кристалізації
- 22 Шнек жовтого цукру II кристалізації
- 23 Клерувальна мішалка
- 24 Насос клеровки на сульфїтацію
- 25 Збірник загального відтоку II кристалізації
- 26 Насоси загального відтоку II кристалізації
- 27 Збірник загального відтоку II кристалізації біля вакуум-апаратів
- 28 Вакуум-апарати III кристалізації
- 29 Приймальна утфелемішалка III кристалізації
- 30 Насоси утфелю III кристалізації після приймальної мішалки
- 31 Змішувач
- 32 Кристалізатор вертикальний
- 33 Горизонтальні утфелемішалки III кристалізації
- 34 Утфелерозподільник
- 35 Центрифуги III кристалізації
- 36 Шнек жовтого цукру III кристалізації
- 37 Збірник афінуючого розчину
- 38 Афінаційна утфелемішалка
- 39 Насоси афінаційного утфелю

- 40 Утфелерозподільникафінаційногоутфелю
- 41 Центрифуги афінаційногоутфелю
- 42 Збірник афінаційного відтоку біля центрифуг
- 43 Збірник афінаційного відтоку біля вакуум-апаратів
- 44 Збірник меляси біля центрифуг
- 45 Насоси меляси
- 46 Ваги меляси
- 47 Збірник меляси на зберігання
- 48 Насоси меляси на зберігання
- 49 Однобарабанна сушарка
- 50 Шнек висушеного цукру на просіювання
- 51 Просіювач цукру
- 52 Камера для забору повітря
- 53 Вентилятори
- 54 Калорифер
- 55 Вентилятор відпрацьованого повітря з сушарки
- 56 Циклон сухої очистки повітря
- 57 Циклон вологої очистки повітря
- 58 Клеровочна мішалка
- 59 Насоси клеровки
- 60 Віброконвейер над бункерами
- 61 Бункери цукру
- 62 Мішкозшивальні машини
- 63 Транспортёр мішків на склад

Апаратурно-технологічна схема виробництва коричневого збагаченого цукру базується на типовій схемі продуктового відділення цукрового заводу з інтеграцією додаткового вузла збагачення (рис. 3.9). Продуктове відділення охоплює станції уварювання утфелів трьох кристалізацій, центрифугування, афінації, сушіння та пакування готової продукції.

Технологічний процес розпочинається з підготовки маточного утфелю (поз. 1-5) та уварювання сиропу з клеровками у вакуум-апаратах I кристалізації (поз. 7) до вмісту сухих речовин 92,0-92,5%. Після центрифугування (поз. 10) утворюються кристали білого цукру та відтоки: перший відтік (поз. 13) направляєється на II кристалізацію, другий (поз. 14) повертається на уварювання утфелю I кристалізації. Білий цукор елеватором (поз. 12) транспортується до сушильного відділення.

Утфель II кристалізації уварюється у вакуум-апаратах (поз. 18) до СР 93,0-93,5%. Жовтий цукор після центрифугування (поз. 21) клерується (поз. 23) та повертається на сульфитацію, відтік направляєється на III кристалізацію.

Утфель III кристалізації (поз. 28) після додаткової кристалізації у вертикальному кристалізаторі (поз. 32) та горизонтальних мішалках (поз. 33) центрифугується (поз. 35). Жовтий цукор проходить афінацію (поз. 38, 41), меляса виводиться як кінцевий відтік (поз. 44-47).

Сушіння білого цукру здійснюється в однобарабанній сушарці (поз. 49) з очищенням відпрацьованого повітря у циклонах (поз. 56, 57). Висушений цукор після просіювання (поз. 51) розподіляється по бункерах (поз. 61) та пакується (поз. 62).

*Вузол виробництва коричневого збагаченого цукру.* Для виробництва коричневого збагаченого цукру в технологічну схему інтегровано додатковий вузол, що включає ферментер, змішувач, прес, сушарка. Частина першого відтоку I кристалізації відбирається зі збірника (поз. 13) та направляється у ферментер, де здійснюється ферментативний гідроліз сахарози препаратом «Інвертаза» при температурі 50-55°C протягом 24 годин. Отриманий інвертний відтік з вмістом СР 60-65% подається у змішувач, де змішується з білим цукром у співвідношенні 10-12% розчину до маси цукру. Насичений цукор формується у вигляді брусків за допомогою пресу та висушується у сушарці при температурі 60-70°C до досягнення вологості не більше 1,5%. Готовий коричневий збагачений цукор пакується окремо та маркується відповідно до вимог нормативної документації.

Запропонована схема дозволяє інтегрувати виробництво збагаченого цукру в існуючу інфраструктуру цукрового заводу без суттєвих змін основного технологічного процесу.

За результатами експериментальних досліджень розроблено спосіб одержання коричневого збагаченого цукру з використанням гідролізованих кристалізаційних відтоків бурякоцукрового виробництва. Розроблений спосіб оформлено як заявку на корисну модель (номер заявки U 202506217) з метою правової охорони технічного рішення та закріплення винаходу.

Об'єктом правової охорони є спосіб виробництва харчового продукту, що відноситься до технології цукру. Технічна суть корисної моделі полягає у використанні ферментативногідролізованого кристалізаційного відтоку як збагачувальної добавки до білого цукру замість традиційної тростинної патоки або синтетичних карамельних барвників.

Патентування розробленого способу створює правові передумови для його комерціалізації та промислового впровадження на підприємствах цукрової промисловості України. Наявність патентної охорони підвищує інвестиційну привабливість технології та забезпечує конкурентні переваги при виході продукції на ринок функціональних харчових продуктів.

### Висновки до розділу 3

Проведено комплексне дослідження п'яти варіантів сировини для збагачення білого цукру: меляси, першого продукту неінвертованого та повністю інвертованого, другого продукту частково інвертованого (33%) та повністю інвертованого.

Встановлено недоцільність використання меляси через неприйнятні органолептичні характеристики готового продукту: виражений гіркий післясмак, надмірно темне забарвлення (кольоровість >20000 од. ICUMSA) та нестабільність при зберіганні.

Порівняння зразків, насичених неінвертованим відтоком, із зразками, насиченими інвертним сиропом тієї ж сировини, показало переваги ферментативного гідролізу: інвертний сироп забезпечував більш рівномірний розподіл збагачувальної добавки, стабільнішу консистенцію готового продукту та кращі органолептичні характеристики.

Охарактеризовано інвертні сиропи для збагачення цукру: сироп першої кристалізації (зольність 135 мг/100 г, кольоровість 0,800 од., рН 5,84) та другої кристалізації (зольність 241 мг/100 г, рН 7,31). Встановлено, що відтоки другої кристалізації містять у 1,8 рази більше мінеральних речовин порівняно з першим продуктом.

На підставі порівняльного аналізу у центральній точці плану експерименту (СР 65%, температура 65°C, кількість 10%) встановлено, що кольоровість цукру, збагаченого другим продуктом, перевищує показники першого у 2,98 рази ( $\lambda 420$ ), зольність - у 2,38 рази. Однак це супроводжується появою гірчинки та надмірно темного забарвлення.

Оптимальною сировиною для збагачення білого цукру визначено інвертний сироп з продукту першої кристалізації, який забезпечує прийнятний баланс між біологічною цінністю продукту та його споживчими характеристиками: приємний карамельно-фруктовий смак, світло-коричневий колір та стабільну консистенцію.

## РОЗДІЛ 4. УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТА БЕЗПЕЧНІСТЮ ЦУКРУ

### 4.1 Загальні підходи до управління якістю та безпечністю харчової продукції (цукру)

*Якість харчового продукту* - це сукупність властивостей, що характеризують харчову цінність, органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні та функціональні особливості продукту. Вона визначає ступінь досконалості таких властивостей та здатність задовольняти потреби споживачів відповідно до призначення окремого продукту. Якість як характеристика продукту, закладається на всіх етапах виробництва - від проектування до реалізації готової продукції.

Основні складові поняття якості харчових продуктів включають:

- Органолептичні показники (зовнішній вигляд, смак, запах, консистенція);
- Фізико-хімічні характеристики (вміст цукру, кислотність, вологість тощо);
- Поживна та енергетична цінність;
- Відповідність визначеним нормативним документам;
- Стабільність складу при зберіганні;

Натомість *безпечність харчових продуктів* - це якісна властивість харчового продукту, яка надається йому при виробництві та зберігається при подальшому обігу. Безпечність реалізується завдяки дотриманню вимог, встановлених санітарними заходами та технічними регламентами. Метою забезпечення безпечності харчового продукту є впевнитися, що харчовий продукт не завдає шкоди здоров'ю споживача, якщо він спожитий за призначенням.

Безпечність є базовою характеристикою харчового продукту і передумовою його допуску до ринку та споживача. На відміну від якості, яка може варіюватися залежно від потреб різних категорій споживачів, безпечність є обов'язковою вимогою для всіх харчових продуктів без винятку.

Національне законодавство України у сфері безпечності та якості харчових продуктів формувалося з урахуванням необхідності майбутньої гармонізації з міжнародними нормами та стандартами, особливо – стандартами ЄС. Ключовим нормативно-правовим актом, що регулює якість та безпечність харчових продуктів в Україні є Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» №1602-VII від 22.07.2014 р., який встановлює правові засади для забезпечення

безпеки харчових продуктів, що виробляються, перебувають в обігу, імпортуються та експортуються.

Крім того, нормативно-правове забезпечення у цій сфері також включає:

- Закон України «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин» №2042-VIII від 18.05.2017 р., який встановлює правові та організаційні засади державного контролю тваринної продукції;
- Закон України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» №2639-VIII від 06.12.2018 р., що регулює відносини між операторами ринку та споживачами щодо надання інформації про харчові продукти;
- Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України №590 від 01.10.2012 р. «Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпекою харчових продуктів (НАССР)»;
- ДСТУ ISO 22000:2019 (ISO 22000:2018, IDT) «Системи керування безпекою харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі», який встановлює вимоги до системи управління безпекою харчових продуктів.
- ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови» - встановлює вимоги до якості та безпеки цукру білого, що виробляється в Україні.

Важливим елементом національного законодавства, що стосується цукрової промисловості, є виданий у 2017 році наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження Вимог до видів цукрів, призначених для споживання людиною» (Наказ від 02.11.2017 № 592), який адаптований до європейських вимог (Директива 2001/111/ЄС) та узгоджений з положеннями Codex Alimentarius.

Міжнародні стандарти відіграють визначальну роль у формуванні вимог до якості та безпеки харчових продуктів. Найбільш впливовими для України є стандарти Codex Alimentarius, ISO серії 9000 та директиви Європейського Союзу.

Серед Codex Alimentarius важливим стандартом для саме цукрової галузі є Codex Stan 212-1999, також відомий як «Стандарт на цукри», який встановлює вимоги до різних видів цукру, включаючи білий цукор, цукрову

пудру, м'який білий цукор, м'який коричневий цукор та інші. Цей стандарт містить положення щодо допустимої кількості харчових добавок, забруднюючих речовин (важких металів, пестицидів) та інші санітарно-гігієнічні вимоги.

Виробництво та обіг цукропродуктів, згідно з Codex Alimentarius, повинні здійснюватися паралельно з дотриманням вимог стандарту «Загальних принципів гігієни харчових продуктів» (СХС 1-1969) та відповідати мікробіологічним критеріям, передбаченим стандартом СХГ 21-1997 «Принципи і методичні вказівки щодо встановлення та застосування мікробіологічних критеріїв, що стосуються харчових продуктів».

Директива Ради 2001/111/ЄС «Про певні види цукру, призначені для споживання в їжу» - є основним документом, який встановлює вимоги до показників якості цукру, що реалізується на ринку Європейського Союзу;

Регламент ЄС №178/2002 - визначає загальні принципи та вимоги законодавства, що стосуються харчових продуктів;

Регламент ЄС №852/2004 - встановлює вимоги щодо гігієни на всіх етапах виробництва харчових продуктів;

Регламент ЄС №1881/2006 - встановлює максимальні рівні деяких забруднювачів у харчових продуктах.

Регламент ЄС №2073/2005 - визначає мікробіологічні критерії для харчових продуктів.

Рекомендації ВООЗ відповідно до кінцевого продукту спрямовані на забезпечення безпечності харчових продуктів та захист здоров'я споживачів. ВООЗ надає рекомендації щодо:

- Мінімізації ризиків, пов'язаних з біологічними, хімічними та фізичними небезпечними чинниками у харчових продуктах;
- Встановлення допустимих рівнів вмісту потенційно небезпечних речовин у харчових продуктах;
- Належних практик виробництва та гігієни;
- Профілактики харчових отруєнь та інфекцій;
- Оцінки ризиків, пов'язаних з новими технологіями виробництва харчових продуктів.

Для власне цукрової промисловості ВООЗ надає рекомендації щодо максимального допустимого добового споживання цукру, а також допустимих рівнів вмісту забруднювачів у цукрі та цукровмісних продуктах.

Міжнародні стандарти та рекомендації постійно оновлюються у відповідь на розвиток технологій виробництва харчових продуктів, що вимагає від операторів ринку постійного моніторингу та адаптації своїх

систем управління якістю та безпечністю до актуальних вимог.

Важливо окремо детально розглянути систему аналізу небезпечних факторів та критичних точок контролю НАССР. Система НАССР – Hazard Analysis and Critical Control Points (надалі – просто НАССР) – є науково обґрунтованим та систематичним підходом до ідентифікації, оцінки та контролю ризиків, пов'язаних з виробництвом, переробкою, зберіганням та реалізацією харчових продуктів. Сутність НАССР полягає в зосередженні контролю під час виробництва на так званих критичних контрольних точках (ККТ) – етапах технологічного процесу, де можливе усунення, запобігання або зниження до прийняттого рівня факторів, що загрожують безпечності харчового продукту. Такий підхід дозволяє виробникам більш ефективно розподіляти ресурси та зосереджуватися на найважливіших аспектах безпечності виробництва.

Важливою особливістю НАССР є також гнучкість системи та можливість адаптації її до різних типів підприємств – від малих виробництв до великих промислових комплексів. Принципи НАССР можуть бути застосовані до будь-якого етапу харчового ланцюга, включаючи первинне виробництво, переробку, зберігання, транспортування та роздрібну торгівлю.

У контексті виробництва цукру система НАССР дозволяє ідентифікувати та контролювати специфічні ризики, такі як мікробіологічне забруднення, наявність пестицидів у цукрових буряках, потрапляння сторонніх предметів та використання допоміжних речовин.

## **4.2. Аналіз показників якості та готової продукції у виробництві цукру з цукрових буряків**

### **4.2.1 Характеристика сировини**

Готовою продукцією є цукор білий кристалічний - однокомпонентний харчовий продукт, що являє собою очищену і кристалізовану сахарозу у вигляді окремих кристалів. Відповідно до ДСТУ 4623:2023 «Цукор білий. Технічні умови», цукор білий за якістю поділяється на категорії: екстра білий, білий I категорії, білий II категорії та напівбілий. Детальні вимоги стандарту наведено в Додатку Г.

*Органолептичні показники.* Цукор має бути білим, чистим, без плям і сторонніх домішок, сипким, без грудочок. Смак - солодкий, без сторонніх запаху і присмаку як у сухому вигляді, так і у водному розчині. Розчин цукру має бути прозорим, без нерозчинного осаду та механічних домішок. Для напівбілого цукру допускаються жовтуватий відтінок, слабкий запах меляси, грудочки, що розпадаються при легкому натисканні, та опалесценція розчину.

Фізико-хімічні показники. Масова частка сахарози для екстра білого цукру становить не менше 99,8%, для білого I та II категорій - не менше 99,7%, для напівбілого - не менше 99,5%. Вологість кристалічного цукру категорій екстра, I та II не повинна перевищувати 0,06%, напівбілого - 0,10%, цукрової пудри - 0,2%. Зольність нормується від 0,0108% (екстра) до 0,05% (напівбілий). Кольоровість у розчині варіює від 22,5 одиниць ICUMSA (екстра) до 195,0 (напівбілий). Вміст феродомішок для всіх категорій не повинен перевищувати 0,0003%, а розмір окремих частинок - 0,5 мм.

*Показники безпечності.* Вміст токсичних елементів не повинен перевищувати допустимих рівнів, наведених у Додатку Г. Вміст двоокису сірки як потенційного алергену обмежується 10 мг/кг. Контроль пестицидів та радіонуклідів здійснюється на етапі вхідного контролю сировини, відповідно до Додатку В.

*Зберігання та використання.* Заборонено зберігати цукор разом з продуктами з різким специфічним запахом. Цукор білий кристалічний використовується в системі ресторанного господарства та для промислової переробки в кондитерській, хлібопекарській, молочній, харчоконцентратній та фармацевтичній галузях, у виробництві напоїв та продуктів дитячого харчування.

#### **4.2.2 Технологічна схема виробництва**

Нижче представлена технологічна схема виробництва білого цукру на прикладі продуктового відділення та її аналіз з точки зору НАССР (Рисунок 4.1).

*Сульфітація сиропу.* Процес виробництва білого цукру розпочинається з сульфітації сиропу з клеровкою. Сульфітація є технологічним етапом, при якому сироп оброблюється діоксидом сірки (SO<sub>2</sub>) для запобігання мікробіологічного забруднення та зниження кольоровості.

*Підігрівання сиропу.* Наступним етапом є підігрівання сиропу до необхідної температури. Цей процес має забезпечувати оптимальну температуру для наступної фільтрації та зменшувати в'язкість сиропу.

*Фільтрація сиропу.* Фільтрація сиропу спрямована на видалення механічних домішок та нерозчинних речовин, що можуть бути присутні в сиропі.

*Подача сиропу на збірники.* Підготовлений сироп накопичується та тимчасово перебуває в збірниках, звідки подається на уварювання.

*Уварювання у вакуум-апаратах.* Вакуум-апарати I продукту використовуються для уварювання цукрового сиропу з використанням затравочної суспензії для ініціювання процесу кристалізації.

*Центрифугування.* Етап центрифугування спрямований на розділення утвореної маси на кристали цукру та міжкристальний розчин. Результатом цього процесу є вологий цукор та побічний продукт - зелена патока I продукту.

*Транспортування.* Транспортування вологого цукру до сушарок на конвеєрах.

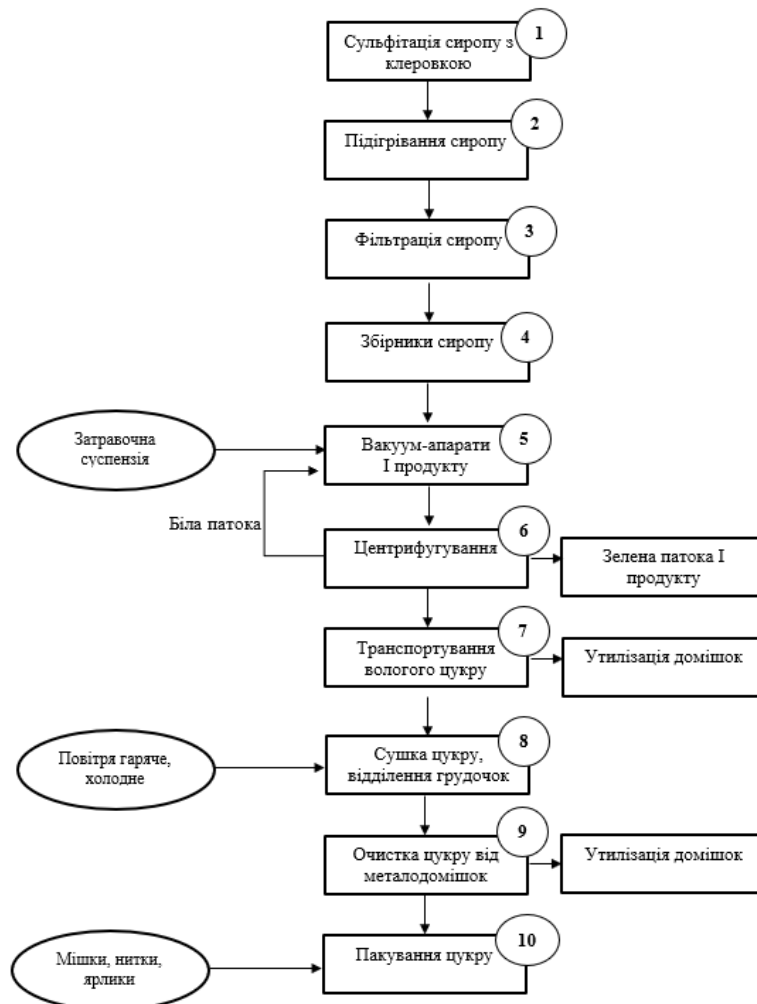


Рисунок 4.1 - Принципова технологічна схема виробництва білого цукру на прикладі продуктового відділення

*Сушка цукру.* Сушка цукру та відділення грудочок здійснюється із застосуванням гарячого та холодного повітря.

*Очистка від металодомішок.* Очистка цукру від металодомішок забезпечується магнітними уловлювачами, що знаходяться над конвеєрним полотном, на якому транспортується цукор.

*Пакування.* Заключним етапом технологічного процесу є пакування цукру у відповідну тару з використанням мішків, ниток та ярликів.

*Додаткові матеріали.* У процесі виробництва цукру у продуктовому відділенні використовується ряд допоміжних матеріалів (Таблиця 4.1), та

хімічних сполук (Таблиця 4.2) якість яких має відповідати нормативним документам.

Таблиця 4.1

Додаткові матеріали та вимоги до хімічних сполук

Матеріал	Нормативний документ	Вимоги
Затравочна суспензія для ініціювання процесу кристалізації цукру в вакуум-апаратах та створення кристалів цукру певної форми	ТУ У 15.8-00373391-001:2006	Масова частка сахарози: 94-96% Середній розмір кристалів: 0,3-0,5 мм Коефіцієнт однорідності: не менше 1,8 Вміст вологи: не більше 0,1% рН: 6,8-7,2 Відсутність мікробіологічних забруднень
Повітря (гаряче, холодне) для сушіння та охолодження цукру-піску	ДСТУ ISO 8573-1:2010	Клас чистоти повітря: не нижче класу 2 за вмістом твердих частинок. Вміст часток розміром >5 мкм: не більше 100000 на м <sup>3</sup> . Вміст олії: не більше 0,1 мг/м <sup>3</sup> . Відсутність мікробіологічних забруднень. Температурні параметри: Вміст вологи: точка роси не вище -40°C для сухого повітря. Гаряче повітря: 90-105°C, Холодне повітря: 25-35°C
Мішки для фасування та зберігання готового цукру-піску	ДСТУ 8302:2015	Матеріал: поліпропілен харчової якості Міцність на розрив: не менше 950 Н Стійкість до проколу: не менше 300 Н Вага мішка: 110±5 г для 50 кг цукру Наявність сертифікату про відповідність матеріалів для контакту з харчовими продуктами Відсутність сторонніх запахів Відсутність пошкоджень
Фільтрувальна тканина для фільтрації соків та сиропів	ДСТУ 872:2019	Вміст SO <sub>2</sub> : не менше 99,5% Вміст H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : не більше 0,05% Вміст вологи: не більше 0,05%
Піногасник для зниження піноутворення при уварюванні утфелів	ТУ У 24.6-13490574-002:2005	Густина: 900-980 кг/м <sup>3</sup> Кінематична в'язкість: 30-70 мм <sup>2</sup> /с Вміст важких металів: відповідно до регламенту ЄС №1881/2006

**Вимоги до хімічних сполук, що використовуються в технологічному процесі**

Хімічний продукт	Опис	Постачальник	Застережні заходи
Діоксид сірки (SO <sub>2</sub> ), E-220	Етап сульфитації сиропу	ТД «Промислова хімія в Україні» та інші постачальники	Працювати під витяжкою. Використовувати респіратор. Носити захисні рукавиці, окуляри, спецодяг. Зберігати балони у прохолодному місці. При витoku евакууватися.
Етанол	Затравочна суспензія (кристали цукру в спирті)	ТД «Промислова хімія в Україні» та інші постачальники	Уникати вогню. Використовувати рукавиці, окуляри, халат. Забезпечити вентиляцію. Зберігати у герметичних контейнерах. При контакті зі шкірою/очима промити водою.

### **4.3. Аналіз факторів ризику та визначення критичних контрольних точок**

Визначення факторів ризику та визначення критичних контрольних точок проводиться на основі і представленої блок-схеми технології виробництва цукру (продуктове відділення).

Ризики, що можуть впливати на безпечність харчових продуктів, класифікуються на три основні групи: біологічні, хімічні та фізичні.

У цукровому виробництві біологічні ризики можуть виникати через забруднення сировини, недотримання санітарно-гігієнічних умов виробництва, неправильне зберігання продукції. Проте, ризик їх виникнення в умовах цукрового виробництва все ж залишається мінімальним завдяки фізико-хімічним властивостям продукту.

Хімічні ризики пов'язані з можливим потраплянням в харчові продукти хімічних речовин, які можуть спричинити отруєння. До них відносяться: сільськогосподарські хімікати: пестициди, гербіциди, фунгіциди, антибіотики та гормони росту, добрива та їх залишки, важкі метали (свинець, ртуть, кадмій, миш'як), радіонукліди та хімічні речовини, що застосовуються у конкретному харчовому виробництві.

У виробництві цукру хімічні ризики можуть бути також пов'язані з використанням технологічних допоміжних речовин та забрудненням продукту важкими металами через непередбачуваний контакт з обладнанням або наявністю залишків мийних засобів після санітарної обробки.

Фізичні ризики. Фізичні ризики представлені сторонніми предметами,

які можуть потрапити до харчового продукту та теоретично спричинити травми при споживанні. До фізичних ризиків відносяться: тверді або гострі часточки будь-якого походження, скло, металеві фрагменти, пісок, каміння та ґрунт, пластики, фрагменти особистих речей, елементи упаковки тощо.

У цукровому виробництві фізичні ризики можуть виникати через потрапляння сторонніх предметів із сировини (масиву цукрового буряку), часточок пошкодженого обладнання, недотримання персоналом правил особистої гігієни або через неналежний контроль за шкідниками.

Визначення ризиків для етапів виробництва у продуктовому відділенні:

*Етап №1.* Сульфітація сиропу з клеровкою. При високотемпературній обробці, випаровуванні, кристалізації та центрифугуванні частина залишкового SO<sub>2</sub> випаровується, але певна кількість все ж може залишатися зв'язаною в сиропі та, відповідно, в готовому цукрі. Тому з точки зору НАССР, це теоретично можливо визначити як критичну контрольну точку (ККТ) через ризик перевищення нормативного вмісту залишкового діоксиду сірки в кінцевому продукті. Згідно з ДСТУ ISO 22000:2007, такий контроль є обов'язковим, оскільки надмірний вміст SO<sub>2</sub> становить хімічний небезпечний чинник.

*Етап №2.* Підігрівання сиропу. На цьому етапі потенційно можливе (але маловірогідне) розмноження мікроорганізмів при недостатньому нагріванні, що потребує контролю згідно з системи НАССР, але не потребує встановлення критичної контрольної точки, позаяк виживання мікроорганізмів на наступних етапах виробництва (особливо під час уварювання сиропу) є маловірогідним.

*Етап №3.* Фільтрація сиропу. У контексті НАССР цей етап можна вважати точкою контролю, оскільки неефективна фільтрація може призвести до забруднення сировини на наступних етапах виробництва. Забруднення кінцевого продукту є малоімовірним завдячуючи процесу кристалізації.

*Етап №4.* Подача сиропу на збірники. При тривалому зберіганні в збірниках можуть виникати мікробіологічні ризики, що вимагає впровадження програми-передумови щодо контролю часу зберігання. Все ж виживання таких мікроорганізмів на наступних етапах виробництва залишається маловірогідним.

*Етап №5.* Уварювання сиропу у вакуум-апаратах. З точки зору НАССР, контроль якості затравочної суспензії є важливим, оскільки вона безпосередньо контактує з харчовим продуктом і може стати джерелом біологічного, хімічного або фізичного забруднення. Встановлення ККТ не є необхідним.

*Етап №6.* Центрифугування сиропу. На цьому етапі ключовим є контроль технічного стану центрифуг для запобігання фізичного забруднення від зношування обладнання (частини обладнання та феродомішки). Встановлення ККТ не є необхідним, позаяк феродомішки можуть бути вилучені на наступних етапах.

*Етап №7.* Транспортування вологого цукру. Є етапом, на якому можливе фізичне забруднення продукту фізичними забрудниками. Відповідно до ДСТУ ISO 22000:2007, необхідно запровадити програму-передумову з технічного контролю транспортувального обладнання.

*Етап №8.* Сушка цукру та відділення грудочок. Цей етап є критичним з точки зору контролю вологості кінцевого продукту. Недостатнє висушування може призвести до розвитку мікрофлори в упакованому цукрі, що робить цей етап потенційною ККТ з точки зору мікробіологічних ризиків.

*Етап №9.* Очистка цукру від металоDOMішок. Згідно з вимогами НАССР, цей етап слід визначити як ККТ для контролю фізичних небезпечних чинників. Виявлені металоDOMішки підлягають утилізації за встановленими правилами, щоб уникнути повторного забруднення.

*Етап №10.* Пакування. На цьому етапі можливе забруднення продукції від пакувальних матеріалів, тому, відповідно до вимог програм-передумов, необхідно контролювати якість пакувальних матеріалів та дотримуватися гігієнічних вимог при пакуванні.

Аналітично аналіз кожного з факторів на предмет наявності критичної контрольної точки на кожному етапі технологічного процесу здійснюється за наступним алгоритмом: для кожного небезпечного фактора на кожному етапі технологічного процесу послідовно з'ясовується: чи є фактор значущим на даному етапі; чи виконуються дії з усунення або зниження ризику до допустимого рівня; чи можливе зростання ризику на цій стадії; чи можливе усунення ризику на наступних етапах. Етап визначається як ККТ, якщо на ньому здійснюється контроль ризику або якщо ризик не може бути усунений на подальших стадіях. Для визначення критичних контрольних точок на етапах технологічного процесу продуктового відділення використовували кількісний метод визначення ККТ, який у науковій літературі та в практичних посібниках з НАССР також часто називають "матрицею оцінки ризиків [46].

Аналіз факторів продуктового відділення цукрового заводу на наявність ККТ наведено у Додатку Д.

Аналіз технологічної схеми виробництва на небезпечні фактори показав, що тільки фактор металоDOMішок (феродомішок) є дійсно потенційно небезпечним в рамках продуктового цукрового відділення.

Металодомішки можуть потрапляти в готовий продукт вже після завершення всіх основних етапів виробництва та безпосередньо перед реалізацією цукру, що робить вживання потрапляння людиною можливим. Саме тому етап №9 - Очистка від металодомішок - потребує встановлення ККТ та граничних меж ККТ.

Дискусійною є потреба до встановлення ККТ для етапу №1 – сульфатації сиропу з клеровкою. Хоча окремі дослідники стверджують, що у випадку перевищення норми сірчистий газ може залишатися у міжкристалічному розчині, все ж вплив SO<sub>2</sub> на готовий продукт є мінімальним, позаяк білий цукор за ДСТУ є хімічно майже абсолютно чистою сахарозою без наявності в ньому міжкристалічного розчину. Актуальним встановлення ККТ для етапу сульфатації сиропу може бути у випадку виробництва неочищеного цукру.

Вплив інших факторів є або незначним, або нівелюється послідовними етапами виробництва.

В таблиці Додатку Є представлено пналіз ККТ на ключових етапах виробництва у продуктовому відділені.

Отже, проаналізувавши схему виробництва як аналітично, так і з-за допомогою матриці оцінки ризиків (як окремо для всіх небезпечних факторів, так і для етапів виробництва), можна зробити висновок, що у продуктовому відділені цукрового заводу доцільним є встановлення ККТ для етапу виробництва №9 – «очистка цукру від металодомішок». Небезпечним фактором можна визначити металодомішки (феродомішки).

Граничні значення для наявності у цукрі металодомішок можна встановити шляхом використання норм ДСТУ 4623:2023 Цукор білий. Технічні умови": вміст феродомішок не більше 0,0003% до кількості продукту, величина окремих частинок феродомішок у найбільшому лінійному вимірі не більше 0,5 мм, ефективність роботи магнітного сепаратора не менше 99,5% вилучення металевих частинок розміром понад 0,1 мм.

План контролю граничних значень. Контролю підлягає функціонування магнітних уловлювачів та власне вміст металодомішок у цукрі. Контроль магнітних уловлювачів здійснюється шляхом візуального огляду магнітів для фіксації факту накопичення на них металевих частинок. Візуальний огляд магнітів проводиться щогодини під час роботи, очищення магнітів здійснюється кожні 4 години або при накопиченні видимих металевих частинок. Також здійснюється контроль магнітної індукції сепараторів, зазвичай щоденно перед початком зміни. Контроль магнітної індукції здійснюється за допомогою спеціальних приладів - тесламетрів або

гаусметрів.

Контроль готового продукту здійснюється шляхом лабораторного визначення вмісту феродомішок у готовому продукті згідно з ДСТУ 4623:2023. Лабораторний аналіз виконується кожні 2 години роботи та при кожній зміні партії сировини.

Контроль зазначених вище параметрів проводять оператор лінії (візуальний контроль, очищення сепараторів) та технолог (аналіз проб готового продукту).

План коригувальних дій при перевищенні граничних значень. При виявленні перевищення вмісту металодомішок негайно зупиняється подача продукту на пакування.

Перед повторним очищенням перевіряється технічний стан магнітних сепараторів. Коригувальні заходи включають очищення магнітних уловлювачів, перевірку магнітної індукції обладнання та за необхідності – ремонт обладнання.

Обов'язковим є документування факту відхилення, часу його виявлення, обсягу ізольованої продукції та вжитих коригувальних заходів. Даний документ повинен бути підписаний відповідальними особами.

Після здійснення коригувальних заходів, дефектна партія цукру відправляється на повторне очищення.

#### **Висновки до Розділу 4**

У розділі 4 комплексно розглянуто питання управління якістю та безпечністю цукру білого на всіх етапах його виробництва з цукрових буряків із застосуванням принципів системи НАССР.

Встановлено, що якість цукру формується сукупністю органолептичних, фізико-хімічних та показників безпеності, які регламентуються національними та міжнародними нормативними документами. Безпечність харчової продукції є обов'язковою базовою вимогою та передумовою допуску цукру до обігу, тоді як показники якості можуть варіюватися залежно від категорії продукції та споживчих очікувань.

Аналіз законодавчої та нормативної бази показав, що вимоги до якості та безпеності цукру в Україні значною мірою гармонізовані з міжнародними стандартами Codex Alimentarius, ISO та нормативами Європейського Союзу. Це створює правові та організаційні передумови для стабільного виробництва безпечної продукції, а також для її конкурентоспроможності на внутрішньому та зовнішньому ринках.

У результаті аналізу показників якості готової продукції відповідно до ДСТУ 4623:2023 встановлено, що білий кристалічний цукор є хімічно стабільним продуктом із низьким рівнем біологічних ризиків. Основні вимоги до нього зосереджені на забезпеченні високої чистоти сахарози, мінімальної вологості, відсутності сторонніх домішок та дотриманні нормативів щодо вмісту токсичних елементів і феродомішок.

Детальний розгляд технологічної схеми виробництва цукру з позицій НАССР дозволив ідентифікувати потенційні біологічні, хімічні та фізичні небезпечні чинники на кожному етапі процесу. Проведений аналіз із використанням матриці оцінки ризиків показав, що більшість ризиків або є малоймовірними, або ефективно нівелюються на наступних стадіях технологічного процесу завдяки високим температурам, вакуумному уварюванню та кристалізації.

Встановлено, що єдиним значущим небезпечним фактором у межах продуктового відділення цукрового заводу є фізичний ризик, пов'язаний з можливим потраплянням металодомішок у готову продукцію. У зв'язку з цим етап очищення цукру від металодомішок обґрунтовано визначено як критичну контрольну точку (ККТ). Для даної ККТ встановлено граничні значення відповідно до вимог ДСТУ 4623:2023, а також розроблено план моніторингу, відповідальних осіб і коригувальних дій у разі перевищення нормативів.

Отже, впровадження та належне функціонування системи НАССР у продуктовому відділенні цукрового заводу, з акцентом на контроль металодомішок, забезпечує високий рівень безпечності готового цукру та відповідає сучасним вимогам національного і міжнародного законодавства.

## 5. ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦУКРУВ КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

### 5.1. Економічна ефективність розробки та її соціальне значення

Розрахунок очікуваної економічної ефективності впровадження технології виробництва коричневого збагаченого цукру базується на показниках типового цукрового заводу середньої потужності. Базові дані надано в Таблицях 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 нижче.

Таблиця 5.1

#### Виробнича програма

Показник	Од. виміру	Значення
Добова переробка буряків (планова)	т/добу	3000
Тривалість виробничого сезону	діб	100
Загальна кількість буряків за сезон	т	300 000
Вихід відтоку I кристалізації	% до маси буряків	4,5
Кількість відтоку I кристалізації за сезон	т	13 500
Частка відтоку для виробництва збагаченого цукру	%	5
Кількість відтоку для збагачення	т	675

Таблиця 5.2

#### Вартість обладнання для впровадження технології

Найменування	Вартість, грн
Ферментер з системою термостатування (2 шт.)	280 000
Змішувач для насичення цукру	150 000
Сушильна установка	220 000
Формувальне обладнання	180 000
Пакувальна лінія	350 000
Система автоматизації та КВП	120 000
Монтаж та пуско-налагодження	200 000
Разом	1 500 000

До суми капітальних витрат входить:

$$K = K_{\text{пер}} + D + Z - B_p$$

де:  $K$  – сума капітальних витрат;  $K_{\text{пер}}$  – первісна вартість нового устаткування та монтажу: 1 500 000 грн;  $D$  – витрати на підготовку приміщення: 150 000 грн;  $Z$  – залишкова вартість замінюваного устаткування:

0 грн; Вр – виручка від реалізації старого обладнання: 0 грн.

$$K = 1\,500\,000 + 150\,000 - 0 = 1\,650\,000 \text{ грн}$$

Таблиця 5.3

Розрахунок обсягів виробництва

Показник	Розрахунок	Значення
Маса сухих речовин у відтоку, т	$675 \times 0,80$	540
Маса інвертного сиропу (СР 60%), т	$540 / 0,60$	900
Маса білого цукру для збагачення (12% сиропу), т	$900 / 0,12$	7 500
Вихід коричневого збагаченого цукру, т	$7\,500 \times 1,072$	8 040

Таблиця 5.4

Додаткові витрати на виробництво

Стаття витрат	Розрахунок	Сума, грн
Ферментний препарат «Інвертаза»		
Маса сахарози у відтоку	$540 \times 0,83 = 448 \text{ т}$	
Потреба у ферменті (0,2%)	$448 \times 0,002 = 0,9 \text{ т}$	
Вартість (550 грн/кг)	$900 \times 550$	495 000
Електроенергія		
Загальне споживання	$120 \text{ кВт} \times 16 \text{ год} \times 100 \text{ діб}$	
Вартість (5,20 грн/кВт·год)	$192\,000 \times 5,20$	998 400
Амортизація (10%)	$1\,500\,000 \times 0,10$	150 000
Поточний ремонт (5%)	$1\,500\,000 \times 0,05$	75 000
Пакувальні матеріали	$8\,040 \text{ т} \times 80 \text{ грн/т}$	643 200
Додатковий персонал	$5 \text{ осіб} \times 28\,000 \text{ грн} \times 4 \text{ міс}$	560 000
Маркетинг та просування		400 000
Сертифікація продукції		120 000
Інші витрати (5%)		172 080
Разом додаткові витрати		3 613 680

Нижче надано розрахунки доходів від реалізації збагаченого відтоками кристалізації коричневого цукру:

Таблиця 5.5

Розрахунок доходу від реалізації

Показник	Значення
Ціна реалізації білого цукру, грн/т	28 000
Ціна реалізації коричневого збагаченого цукру, грн/т	34 000
Цінова надбавка за збагачений цукор, грн/т	6 000
Обсяг виробництва збагаченого цукру, т	8 040
Додатковий дохід від реалізації, грн	48 240 000

## Розрахунок економічного ефекту

Показник	Сума, грн
Додатковий дохід від реалізації	48 240 000
Економія витрат	121 500
Загальний дохід	48 361 500
Додаткові витрати	3 613 680
Валовий прибуток	44 747 820
Податок на прибуток (18%)	8 054 608
Чистий прибуток	36 693 212

Термін окупності капіталовкладень:

$$T = 1\,650\,000 / 36\,693\,212 = 0,045 \text{ року} \approx 16 \text{ днів роботи підприємства}$$

Рентабельність додаткової продукції:

$$P = 36\,693\,212 / 3\,613\,680 \times 100 = 1015\%$$

Висока рентабельність зумовлена використанням побічних продуктів виробництва, що є низьковартісною сировиною, та стабільним попитом на функціональні харчові продукти з підвищеною біологічною цінністю.

### 5.2. Основні техніко-економічні показники

Основні техніко-економічні показники виробництва коричневого збагаченого цукру наведено в Таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

#### Основні техніко-економічні показники

Показник	Од. виміру	Значення
Обсяг виробництва збагаченого цукру	т/сезон	8 040
Капітальні витрати	грн	1 650 000
Додаткові експлуатаційні витрати	грн/сезон	3 613 680
Додатковий дохід від реалізації	грн/сезон	48 240 000
Чистий прибуток	грн/сезон	36 693 212
Термін окупності	днів	16
Рентабельність	%	1015

### 5.3. Екологічні аспекти виробництва та шляхи їх вирішення

*Раціональне використання побічних продуктів ввиробництвта.* Впровадження запропонованої технології дозволяє перетворити відтоки першої кристалізації з побічного продукту на цінну сировину для виробництва функціонального харчового продукту з високим ступенем доходності.

*Зменшення екологічного навантаження.* Традиційно відтоки кристалізації направляються на подальше уварювання або переробку в мелясу, що потребує додаткових енергетичних витрат. Використання частини відтоків для виробництва збагаченого цукру знижує загальне енергоспоживання підприємства та, відповідно, викиди парникових газів.

*Ферментативний гідроліз як екологічно безпечний метод.* На відміну від кислотного гідролізу, ферментативна інверсія сахарози не потребує використання агресивних хімічних реагентів та не супроводжується утворенням токсичних побічних продуктів. Це забезпечує екологічну безпечність технологічного процесу та відповідність продукту вимогам до натуральних харчових продуктів.

*Відсутність додаткових стічних вод.* Технологічний процес виробництва збагаченого цукру є практично безводним на етапах насичення та висушування, що не створює додаткового навантаження на системи водоочищення підприємства.

*Соціальне значення.* Впровадження технології виробництва коричневого збагаченого цукру має значне соціальне значення. Розширення асортименту продукції дозволяє задовольнити зростаючий попит споживачів на функціональні харчові продукти з підвищеною біологічною цінністю. Створення нових робочих місць та можливість роботи підприємства в міжсезоння сприяє підвищенню зайнятості населення в сільських регіонах. Підвищення конкурентоспроможності вітчизняних цукрових заводів на внутрішньому та зовнішньому ринках забезпечує стабільний розвиток галузі та надходження коштів до місцевих бюджетів.

## **Висновки до Розділу 5**

*Впровадження технології* виробництва коричневого збагаченого цукру з використанням інвертованих відтоків першої кристалізації є економічно доцільним, екологічно безпечним та соціально значущим проектом. Капітальні витрати на впровадження технології становлять 1 650 000 грн, термін окупності – 16 днів роботи підприємства, що свідчить про високу ефективність запропонованої розробки. Додатковий чистий прибуток складає 36,7 млн грн за сезон при обсязі виробництва 8 040 т збагаченого цукру.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

На підставі аналізу літературних джерел обґрунтовано актуальність розширення асортименту цукрової продукції шляхом збагачення білого цукру біологічно активними речовинами побічних продуктів бурякоцукрового виробництва. Встановлено, що відтоки кристалізації та меляса містять значні кількості мінеральних речовин (калій, кальцій, магній, залізо), вітамінів групи В, бетаїну та вільних амінокислот. Досліджено п'ять варіантів сировини для збагачення білого цукру: мелясу, відтік першої кристалізації (неінвертований та повністю інвертований), відтік другої кристалізації (частково та повністю інвертований). Встановлено недоцільність використання меляси внаслідок неприйнятних органолептичних характеристик готового продукту: вираженого гіркого післясмаку, надмірно темного забарвлення (кольоровість понад 20000 од. ICUMSA) та нестабільності при зберіганні.

Доведено переваги ферментативного гідролізу відтоків кристалізації препаратом «Інвертаза» порівняно з використанням неінвертованої сировини: інвертний сироп забезпечує рівномірніший розподіл збагачувальної добавки, стабільнішу консистенцію готового продукту та кращі органолептичні характеристики. Втрати вітамінів групи В при ферментативній інверсії не перевищують 10–15%.

Визначено оптимальну сировину для збагачення білого цукру — повністю інвертований (90%) сироп відтоку першої кристалізації. Порівняно з відтоком другої кристалізації, даний продукт забезпечує прийнятний баланс між біологічною цінністю та споживчими характеристиками: приємний карамельно-фруктовий смак, світло-коричневий колір, відсутність гіркого післясмаку.

Методом математичного планування експерименту встановлено оптимальні технологічні параметри процесу збагачення: вміст сухих речовин у сиропі 65%, температура процесу 65°C, кількість збагачувальної добавки 10% до маси цукру. За даних умов готовий продукт характеризується кольоровістю 765 од. ICUMSA ( $\lambda 420$ ), зольністю 0,095%, вмістом калію 72 мг/100 г, заліза 0,63 мг/100 г.

Розроблено принципову апаратурно-технологічну схему виробництва коричневого збагаченого цукру, яка передбачає інтеграцію процесу ферментативного гідролізу та насичення у існуючу технологічну лінію цукрового заводу без суттєвих капітальних витрат.

Проведено аналіз небезпечних факторів та визначено критичні контрольні точки відповідно до принципів системи НАССР. Розроблено план НАССР для технологічного процесу виробництва збагаченого цукру.

Економічний аналіз показав доцільність впровадження розробленої технології: капітальні витрати становлять 1 650 000 грн, термін окупності — 16 днів роботи підприємства, очікуваний додатковий чистий прибуток — 36,7 млн грн за виробничий сезон при обсязі виробництва 8 040 т збагаченого цукру.

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують доцільність виробництва коричневого збагаченого цукру з використанням інвертованих відтоків першої кристалізації як перспективного напрямку розвитку вітчизняної цукрової промисловості. Запропонована технологія дозволяє отримати продукт з підвищеною харчовою цінністю, прийнятними органолептичними характеристиками та конкурентоспроможною собівартістю. Впровадження розробки на діючих цукрових заводах України сприятиме раціональному використанню побічних продуктів виробництва, розширенню асортименту продукції та підвищенню економічної ефективності підприємств галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герасименко О. А., Рева Л. П. Методи контролю виробництва цукру. Київ: ІПК НУХТ, 2017. 120 с.
2. Гриненко І. Г., Грушецький Р. І., Хомічак Л. М. Інноваційні технології одержання цукровмістних продуктів. Продовольчі ресурси. 2019. № 12. С. 58–63.
3. Гриненко І. Г. Одержання збагаченого цукру. Цукор України. 2015. Т. 3, № 111. С. 24–28.
4. Гриненко І. Г. Наукове обґрунтування і розроблення інноваційних технологій харчової продукції та дієтичних добавок: звіт. Харків: ХДУХТ, 2021. 85 с.
5. Грушецький Р. І., Гриненко І. Г., van Klink Н. Інноваційні технології смакових добавок: звіт. Київ; Wemeldinge, 2019. 45 с.
6. Гулий І. С., Українець А. І. Стратегія розвитку харчової промисловості України. Харчова промисловість. 2020. № 28. С. 5–14.
7. Гусятинська Н. А., Чорна Т. М., Бондар Л. М., Касян І. М. До питання екологізації виробництва цукру. Екологія-2011: матеріали III Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю (Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця: ВНТУ, 2011. Т. 1. С. 548–550.
8. Гусятинська Н. А., Каленик О. С., Григоренко Н. О. Виробництво харчових сиропів із сорго цукрового. Наукові праці НУХТ. 2023. Т. 29, № 3. С. 128–138. DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-3-12.
9. Димань Т. М., Мазур Т. Г. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів: система НАССР. Київ: Професіонал, 2019. 256 с.
10. ДСТУ 4623:2006. Цукор білий. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.
11. ДСТУ ISO 22000:2019 (ISO 22000:2018, IDT). Системи керування безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюзі. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 45 с.
12. Євлаш В. В., Акмен В. О., Кравченко О. І. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів. Харків: ХДУХТ, 2019. 320 с.
13. Закон України «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин» від 18.05.2017 № 2042-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 31. Ст. 343.
14. Закон України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» від 06.12.2018 № 2639-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2019. № 7. Ст. 41.

15. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» від 22.07.2014 № 1602-VII. Відомості Верховної Ради України. 2014. № 41–42. Ст. 2024.
16. Ковальова О. В. Цукрова промисловість України: стан, тенденції та перспективи розвитку. Облік і фінанси АПК. 2019. № 3. С. 112–119.
17. Купчик Л. А., Грабовська О. В. Використання нетрадиційної сировини для виробництва функціональних харчових продуктів. Наукові праці НУХТ. 2018. Т. 24, № 5. С. 178–185.
18. Логвін В. М., Українець А. І. Технологія цукру. Київ: НУХТ, 2020. 340 с.
19. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження Вимог до видів цукрів, призначених для споживання людиною» від 02.11.2017 № 592. Офіційний вісник України. 2017. № 96. Ст. 2944.
20. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України «Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР)» від 01.10.2012 № 590. Офіційний вісник України. 2012. № 81. Ст. 3290.
21. Нечипоренко Д. М., Литвиненко О. А. Ферментативний гідроліз сахарози: технологічні аспекти. Ukrainian Food Journal. 2019. Vol. 8, No. 3. P. 524–535.
22. Олійник С. Г., Пивоваров П. П. Інноваційні технології у харчовій промисловості. Харків: ХДУХТ, 2016. 228 с.
23. Петришин О. О., Хоменко М. Д. Інноваційні напрями розвитку цукрової галузі України. Цукор України. 2020. № 3. С. 18–25.
24. Решетняк Л. Р., Хомічак Л. М. Удосконалення технології кристалізації цукру. Харчова промисловість. 2017. № 22. С. 56–62.
25. Роль кафедри технології цукру і підготовки води НУХТ у кадровому забезпеченні галузі. Цукор України. 2018. Т. 1, № 143. С. 5–12.
26. Самілик М. М., Корнієнко Д. А. Аналіз видів цукру та розширення його асортименту в Україні. Biota. Human. Technology. 2023. № 1. С. 94–108.
27. Самілик М. М., Корнієнко Д. А. Аналіз та оцінка потенційних ризиків у виробництві збагаченого цукру. Technology Audit and Production Reserves. 2024. Т. 3, № 3 (77). С. 15–22.
28. Самілик М. М., Корнієнко Д. А. Розроблення технології одержання збагаченого цукру. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія: Харчові технології. 2022. Т. 24, № 98. С. 45–52.
29. Самілик М. М., Корнієнко Д. А., Болгова Н. В., Соколенко В. В., Богомол Н. Д. Застосування похідних продуктів переробки дикорослих ягід

для збагачення пресованого цукру. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Т. 3, № 11 (117). С. 28–35.

30. Самілик М. М., Ткачук М. І. Збагачення цукру продуктами переробки цукатів із плодів дині. *Вісник СНАУ*. 2023. № 2. С. 18–24.

31. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Харчові технології збагачення продуктів біологічно активними речовинами. Київ: НУХТ, 2012. 264 с.

32. Скрипко А. О. Перспективи розвитку цукрової промисловості України в умовах євроінтеграції. *Економіка харчової промисловості*. 2021. Т. 13, № 2. С. 45–52.

33. Українець А. І., Сімахіна Г. О. Технологія оздоровчих харчових продуктів. Київ: НУХТ, 2009. 310 с.

34. Хомічак Л. М., Решетняк Л. Р., Василів В. П. Технологія цукристих речовин. Київ: НУХТ, 2007. 280 с.

35. Чорна Т. М., Гусятинська Н. А. Аналіз нормативних документів ЄС щодо якості та безпечності цукрів у контексті розширення експортного потенціалу галузі. *Наукові праці НУХТ*. 2022. Т. 28, № 3. С. 154–176.

36. Чорна Т. М., Гусятинська Н. А. Споживання цукру: світові тренди. *Товари і ринки*. 2023. № 4. С. 35–48.

37. Штангеев В. О., Хоменко М. Д. Шляхи підвищення ефективності цукрового виробництва. *Харчова промисловість*. 2018. № 24. С. 45–52.

38. Штангеева Н. І., Білик Л. С., Коберник А. В. Технохімічний контроль цукрового виробництва. Київ: НУХТ, 2018. 220 с.

39. Юрченко О. О., Корольчук С. І., Савчук Т. В., Кормош Ж. О., Макаренко С. В. Аналіз стану та перспектив переробки меляси як одного з основних відходів цукрової промисловості. Луцьк: ВНУ ім. Лесі Українки, 2022. 35 с.

40. Якубчак О. М., Хоменко В. І., Мельничук С. Д. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги ДСТУ ISO 22000:2019 та принципи НАССР. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ: Біопром, 2020. 180 с.

41. Adbhai A. R., Dewanjee S. Sugar Beet Molasses: Production and Utilization. *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing* / eds. K. K. Misra, S. K. Srivastava. Singapore: Springer, 2022. P. 663–688. DOI: 10.1007/978-981-19-2730-0\_44.

42. Asikin Y., Hirose N., Tamaki H., Ito S., Oku H., Wada K. Effects of different drying–solidification processes on physical properties, volatile fraction, and antioxidant activity of non-centrifugal cane brown sugar. *LWT – Food Science and Technology*. 2016. Vol. 66. P. 340–347. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.10.039.

43. Azlan A., Khoo H. E., Sajak A. A. B., Kadir N. A. A. A., Yusof B. N. M., Mahmood Z., Sultana S. Antioxidant activity, nutritional and physicochemical

characteristics, and toxicity of minimally refined brown sugar and other sugars. *Food Science & Nutrition*. 2020. Vol. 8, No. 9. P. 5048–5062. DOI: 10.1002/fsn3.1803.

44. Barrera C., Betoret N., Seguí L. Phenolic profile of cane sugar derivatives exhibiting antioxidant and antibacterial properties. *Sugar Technology*. 2020. Vol. 22, No. 5. P. 798–811. DOI: 10.1007/s12355-020-00817-y.

45. Bubnik Z., Kadlec P., Urban D., Bruhns M. *Sugar Technologists Manual: Chemical and Physical Data for Sugar Manufacturers and Users*. 8th ed. Berlin: Bartens, 1995. 348 p.

46. Codex Alimentarius Commission. Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Application: CAC/RCP 1-1969, Rev. 4. Rome: FAO/WHO, 2003. 25 p.

47. Codex Alimentarius Commission. Standard for Sugars: CXS 212-1999. Amended 2019. Rome: FAO/WHO, 2019. 7 p.

48. Godshall M. A. The expanding world of nutritive and non-nutritive sweeteners. *Sugar Journal*. 2007. Vol. 69, No. 9. P. 12–20.

49. Hryhorenko N., Husiatynska N., Kalenyk O. Substantiation of a rational method of purification of sugar sorghum juice in the technology of food syrup production. *Ukrainian Food Journal*. 2021. Vol. 10, No. 2. P. 263–276.

50. Lee J. S., Ramalingam S., Jo I. G., Kwon Y. S., Bahuguna A., Oh Y. S., Kwon O. J., Kim M. Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. *Food Research International*. 2018. Vol. 109. P. 614–625. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.04.047.

51. Navia J. M. Enrichment of sugar and sugar products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1968. Vol. 16, No. 2. P. 173–178.

52. Palmonari A., Cavallini D., Sniffen C. J., Fernandes L., Holder P., Fagioli L., Fusaro I., Biagi G., Formigoni A., Mammi L. Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103, No. 7. P. 6244–6249. DOI: 10.3168/jds.2019-17644.

53. Phillips K. M., Carlsen M. H., Blomhoff R. Total antioxidant content of alternatives to refined sugar. *Journal of the American Dietetic Association*. 2009. Vol. 109, No. 1. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.jada.2008.10.014.

54. Valli V., Gómez-Caravaca A. M., Di Nunzio M., Danesi F., Caboni M. F., Bordoni A. Sugar Cane and Sugar Beet Molasses, Antioxidant-rich Alternatives to Refined Sugar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012. Vol. 60, No. 51. P. 12508–12515.

55. Zhang S., Wang J., Jiang H. Microbial production of value-added bioproducts and enzymes from molasses. *Food Chemistry*. 2021. Vol. 346. Article 128860.

**ДОДАТКИ**

**ДОДАТОК А**

**91-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті»**

**Ministry of Education and Science of Ukraine**

**National University of Food Technologies**

---

**91<sup>th</sup>  
International scientific conference  
of young scientist and students**

**"Youth scientific achievements  
to the 21st century nutrition  
problem solution"**

**April, 7–11 2025**

**Part 1**

---

**Kyiv, NUFT, 2025**

**91<sup>st</sup> International** scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025. Book of abstract. Part 1. NUFT, Kyiv.

The publication contains materials of 91<sup>th</sup> International scientific conference of young scientists and students "Youth scientific achievements to the 21st century Nutrition problem solution".

It was considered the problems of improving existing and creating new energy and resource saving technologies for food production based on modern physical and chemical methods, the use of unconventional raw materials, modern technological and energy saving equipment, improve of efficiency of the enterprises, and also the students research work results for improve quality training of future professionals of the food industry.

The publication is intended for young scientists and researchers who are engaged in definite problems in the food science and industry.

ISBN 978-966-612-358-2

© NUFT, 2025

---

**Матеріали** 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 7–11 квітня 2025 р. – Київ: НУХТ, 2025. – Ч.1. – 347 с.

Видання містить матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті".

Розглянуто проблеми удосконалення існуючих та створення нових енерго- та ресурсощадних технологій для виробництва харчових продуктів на основі сучасних фізико-хімічних методів, використання нетрадиційної сировини, новітнього технологічного та енергозберігаючого обладнання, підвищення ефективності діяльності підприємств, а також результати науково-дослідних робіт студентів з метою підвищення якості підготовки майбутніх фахівців харчової промисловості.

Розраховано на молодих науковців і дослідників, які займаються означеними проблемами у харчовій науці та промисловості.

ISBN 978-966-612-358-2

© НУХТ, 2025

## **Зміст**

1. Technology of functional ingredients and new food.....	7
2. Foodstuff expertise .....	36
3. Technology of bread, pastry, pasta and food concentrates .....	82
4. Grain processing technology .....	112
5. Technology of sugars, polysaccharides and water treatment.....	130
6. Technology of fermentation and wine.....	149
7. Technology of preservation .....	179
8. Technology of meat and meat products.....	198
9. Technology of milk and dairy products.....	248
10. Technology of fats and perfumery-cosmetic products .....	267
11. Ecology and sustainable development .....	280
12. Biotechnologies and bioengineering.....	303

## **Content**

1. Технологія функціональних інгредієнтів та нових харчових продуктів.....	7
2. Експертизи харчових продуктів.....	36
3. Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів.....	82
4. Технологія переробки зерна.....	112
5. Технології цукру, полісахаридів і підготовки води.....	130
6. Технологія продуктів бродіння і виноробства.....	149
7. Технологія консервування.....	179
8. Технологія м'яса і м'ясних продуктів.....	198
9. Технологія молока і молочних продуктів .....	248
10. Технологія жирів та парфумерно-косметичних виробів.....	267
11. Екологія і сталий розвиток .....	280
12. Біотехнології та біоінженерія.....	303

### 3. До питання розширення асортименту цукрів вітчизняними виробниками

Назар Шпак, Наталія Гусятинська  
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

**Вступ.** Сучасна харчова промисловість орієнтується на створення продуктів з підвищеною біологічною цінністю, що зумовлює актуальність досліджень в напрямку розширення асортименту цукрів.

**Матеріали та методи.** Об'єктом дослідження є технологія цукрів з біологічно-активними добавками. В ході досліджень використовували традиційні в галузі фізико-хімічні та органолептичні методи. Для одержання інвертного сиропу використовували фермент інвертази.

**Результати та обговорення.** На основі узагальнення сучасних наукових розробок та їх практичної реалізації в Україні та світі виокремлено основні напрямки розширення асортименту цукрів, зокрема шляхом виробництва органічного цукру; харчових сиропів з цукрового сорго; використання можливостей крафтових виробництв (льодяниковий цукор, пресований цукор зі збагаченим макро- та мікроелементним складом та ін.) [1].

Білий цукор за своїм хімічним складом містить 99,7-99,8 % сахарози, що відповідає вимогам для його використання у виробництві харчових продуктів та напоїв. В той же час, слід зазначити, що в процесі рафінації втрачаються практично всі присутні в рослинній сировині корисні речовини, функціональні макро- та мікроелементи.

Вітчизняними науковцями успішно розробляються методи збагачення цукру біологічно активними речовинами шляхом його насичення продуктами рослинного походження: похідними з різноманітних ягід, дині тощо [2]. Реалізація запропонованих технологій дозволяє отримати продукт з високим вмістом мінералів, мікроелементів, вітамінів та інших біологічно-активних речовин.

Представляє інтерес можливість використання напівпродуктів у виробництві органічного цукру (відтоки першої, другої кристалізації, меляса) для отримання збагачених цукрів. Проведено експериментальні дослідження, в ході яких в якості харчової добавки до цукрів використовували кристалізаційні відтоки виробництва цукру з різним ступенем ферментації. Отриманий продукт - збагачений цукор - характеризується насиченим ароматом, має високі органолептичні характеристики, а також високу стабільність при зберіганні.

**Висновок.** Запропонована технологія збагачення білого цукру є перспективною для впровадження у виробництво, що дозволить розширити асортимент цукрової продукції, покращити біологічну цінність цукру, характеризується незначними капіталовкладеннями і може бути інтегрована в існуючі виробничі лінії цукрових заводів. Крім того, представляє науково-практичний інтерес підвищення біологічної цінності цукру шляхом збагачення екстрактами з рослинної сировини. Перспективним напрямком подальших досліджень є використання збагачених цукрів у виробництві харчових продуктів.

#### Література:

1. Чорна Т., Гусятинська Н. Споживання цукру: Світові тренди. *Товари і ринки*. 2023. Vol. 47, No. 3. P. 33-52.
2. Самілик М.М., Корнієнко Д. Аналіз видів цукру та розширення його асортименту в Україні. *Biota. Human. Technology*. 2023. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:260054876>.

**XIV Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Наукові проблеми харчових технологій та промислової  
біотехнології в контексті євроінтеграції»**

**Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

---



**XIV МІЖНАРОДНА  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
"Наукові проблеми харчових технологій та промислової  
біотехнології в контексті євроінтеграції"**

**ПРОГРАМА ТА ТЕЗИ МАТЕРІАЛІВ**

*25 листопада 2025 р.*

**КИЇВ НУХТ 2025**

26	<b>Гусятинська Н.А., Шпак Н.І., Коломійченко Н.М.</b> Розширення асортименту цукрів як напрямок інноваційного розвитку цукрової галузі	124
27	<b>Кузуб Т.С., Карпович І.В., Омельчук Є.О.</b> Підготовка води у виробництві продуктів крохмале-патокової промисловості	126
28	<b>Літвинчук С.І., Євтушенко О.В., Сірик А.О.</b> Підвищення якості та безпечності продуктів бджільництва в контексті євроінтеграції	128
29	<b>Коноваленко О.А., Булій Ю.В., Мукоїд Р.М.</b> Оптимізація процесу ферментації напою комбуча з використанням культури <i>MEDUSOMYCES GISEVII</i>	130
30	<b>Sviatnenko R., Litvynchuk S., Marynin A.</b> Comparative characteristics of the properties of monofloral honey	132
31	<b>Стецяк Л.І., Хлібшин Ю.Я.</b> Використання виноградної мезги як джерела поліфенолів у технології функціональних харчових продуктів	133
32	<b>Sviatnenko R., Shubina Y., Yanchuk M.</b> Implementation of functional and semi-functional additives in modern food industry technologies	136
33	<b>Янюк Т.І., Ляшко Г.В.</b> Вплив теплової обробки насіння бобових культур на антипоживні речовини	138
34	<b>Шаран А.В., Галка Д.В.</b> Оптичне сортування зерна як інструмент ресурсозберігаючої технології переробки	140
35	<b>Сидоренко В.О., Бабич І.М.</b> Особливості виготовлення шампанських виноматеріалів з локального сорту винограду	142
36	<b>Гусятинська Н.А., Бархатов О.Є., Потапчук І.М.</b> Оптимізація процесу дифузійно-пресового вилучення сахарози з бурякової стружки	144

### Секція 3.

#### Наукові проблеми технологій зберігання, консервування, виробництва та управління якістю і безпекою продуктів тваринництва, птахівництва і продуктів з гідробіонтів

1	<b>Onopriichuk O.O., Aliiev A.A.</b> Of developing dry multicomponent mixtures based on whey	148
2	<b>Yepishkin S., Strashynskiy I., Pasichnyi V.</b> Application of transglutaminase modifications to improve fibrous protein structures	150
3	<b>Vereshchak D.I., Grek O.V.</b> Justification of the need to improve the technology of recombined dairy products	152
4	<b>Верхівкер Я.Г., Мирошніченко О.М.</b> Вимоги до пакування харчових продуктів	153
5	<b>Ощипок І. М.</b> Поліциклічні ароматичні вуглеводні- механізм дії, токсичність та заходи запобігання	155
6	<b>Данилевич І.О., Пасічний В.М.</b> Цільова ферментація для забезпечення якості м'ясних напівфабрикатів	158

## РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ЦУКРІВ ЯК НАПРЯМОК ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ЦУКРОВОЇ ГАЛУЗІ

Н.А. Гусятинська, Н.І. Шпак, Н.М. Коломійченко

*Національний університет харчових технологій*

Актуальним питанням сучасного ринку харчових продуктів є розширення асортименту шляхом створення технологій якісно нових продуктів підвищеної харчової і біологічної цінності. Світові виробники пропонують широкий асортимент різних видів цукру, виготовленого з цукрової тростини чи цукрових буряків, у різних кольорах, формах і текстурах. Крім того, у промисловому асортименті з'явилися нові види цукрів, в тому числі, органічний цукор. Цукор промислового виробництва класифікують за рядом ознак, включаючи розмір кристалів і колір. Широкий асортимент цукру різних розмірів кристалів забезпечує його використання для виготовлення різних харчових продуктів і напоїв. Шляхом зміни технологічних параметрів процесів очищення, кристалізації та сушіння цукру можна отримати різні види цукру. Колір цукру та його смак визначається кількістю міжкристального витоку, що залишився або додано до кристалів [1].

На сьогодні питання розширення асортименту цукру, збагаченого корисними поживними речовинами, є надзвичайно актуальним. Важливим практичним аспектом технології збагачених цукрів є можливість її застосування як на невеликих крафтових виробництвах, так і безпосередньо на цукрових заводах. Для створення збагачених цукропродуктів використовують різні інгредієнти, які мають не лише виражені функціональні властивості, а й можуть також поліпшувати якість традиційних харчових продуктів, зокрема екстракти рослинної сировини; природні ароматизатори; барвники; стабілізатори; консерванти і т.д.

Основними етапами технології виготовлення збагачених цукрів є: 1) попередня підготовка продукту для збагачення цукру; 2) змішування продукту із цукром до отримання однорідної маси; 3) витримання суміші за визначених технологічних параметрів температури та тривалості процесу; 4) висушування за

температури 50-60° С для запобігання руйнуванню біологічно активних речовин рослинної сировини [2, 3].

Метою досліджень є визначення технологічних параметрів процесу одержання цукрів, збагачених макро- та мікроелементами. В якості об'єктів дослідження

обрано цукор кристалічний, відтоки 1-3 продуктів варочнокристалізаційного відділення цукрового заводу, сироп сорго цукрового.

Методика досліджень полягала в наступному: відтоки 1-3 продуктів підлягали процесу ферментативного розкладання сахарози до інвертного цукру. Проводили моделювання процесу насичення цукру відповідно до плану експерименту 2 порядку. В якості змінних параметрів обрано температуру (в межах 50-75 °С), вміст сухих речовин у рідкому продукті (55-75 %), кількість доданого рідкого продукту (5-15 %).

Сироп сорго цукрового використовували без попередньої підготовки. Цукор після насичення підлягав пресуванню та висушуванню. Одержаний продукт досліджували з метою визначання органолептичних та фізико-хімічних показників якості.

Найкращими смаковими та органолептичними характеристиками володіли проби цукру з вмістом ферментованого відтоку І продукту та сиропу сорго цукрового у кількості 10-12 %.

**Висновок.** Цукор, збагачений інвертним продуктом набув насиченого аромату, демонстрував стабільність своїх властивостей при зберіганні, що підтверджує можливість його використання у промисловому виробництві.

### **Список літератури**

1. Чорна Т., Гусятинська Н. Споживання цукру: світові тренди. *Товари і ринки*. 2023. № 3. С. 33-52.
2. Самілик М., Корнієнко Д. Аналіз видів цукру та розширення його асортименту в Україні. *Biota. Human. Technology*. 2023. №1. 94-108.
3. Гріненко І. Г., Грушецький Р. І., Хомічак Л. М. Інноваційні технології одержання цукровмістних продуктів. *Продовольчі ресурси*. 2019. № 12. С. 58-63



$$b_{11} := a5 \cdot \sum_i [(x_{i,1})^2 \cdot y_i] + q \quad b_{22} := a5 \cdot \sum_i [(x_{i,2})^2 \cdot y_i] + q \quad b_{33} := a5 \cdot \sum_i [(x_{i,3})^2 \cdot y_i] + q$$

$$b_{12} = 0.25 \quad b_{13} = 9.5 \quad b_{23} = 6.25$$

$$b_{11} = -96.194 \quad b_{22} = -89.29766 \quad b_{33} = -68.07923$$

$$y_{pi} := b_0 + b_1 \cdot x_{i,1} + b_2 \cdot x_{i,2} + b_3 \cdot x_{i,3} + b_{12} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,2} + b_{13} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,3} + b_{23} \cdot x_{i,2} \cdot x_{i,3} + b_{11} \cdot (x_{i,1})^2 + b_{22}$$

$$y_{p1i} := b_0 + b_1 \cdot x_{i,1} + b_2 \cdot x_{i,2} + b_3 \cdot x_{i,3} + b_{13} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,3} + b_{22} \cdot (x_{i,2})^2 + b_{33} \cdot (x_{i,3})^2$$

### Розрахунок дисперсій відтворення, остаточної, адекватності і критерію Фішера

$$y_{0s} := \frac{\sum_{i=15}^{20} y_i}{n_0} \quad y_{0s} = 718.83333$$

$$\delta_{bid} := \frac{\sum_{i=15}^{20} (y_i - y_{0s})^2}{n_0 - 1} \quad \delta_{bid} = 29540.166667$$

$$\delta_{oct} := \frac{\sum (y - y_p)^2}{N - L} \quad \delta_{oct} = 2.30253 \times 10^4$$

$$\delta_{ad} := \frac{foct \cdot \delta_{oct} - fbid \cdot \delta_{bid}}{fad} \quad \delta_{ad} = 16510.38858$$

$$F_p := \frac{\delta_{ad}}{\delta_{bid}} \quad F_p = 0.55891$$

$L := 10$

$fbid := n_0 - 1 \quad fbid = 5$

$foct := N - L \quad foct = 10$

$fad := foct - fbid \quad fad = 5$

$F_t := 5.1$

$y_{pi} =$

304.839
335.08
320.484
351.725
537.694
605.934
578.339
647.579
399.804
483.468
437.055
485.236
298.853
743.497
713.78
...

$y_{p1i} =$

394.533
425.273
423.178
453.918
639.887
708.628
668.532
737.273
671.948
755.612
437.055
485.236
298.853
743.497
713.78
...

### Перевірка значущості коефіцієнтів рівняння по критерію Стьюдента

$$S_{b0} := \sqrt{a1 \cdot \delta_{bid}} \quad S_{b1} := \sqrt{a3 \cdot \delta_{bid}} \quad S_{buj} := \sqrt{a4 \cdot \delta_{bid}} \quad S_{bjj} := \sqrt{(a5 + a6) \cdot \delta_{bid}}$$

$$S_{b0} = 70.097 \quad S_{b1} = 46.509 \quad S_{buj} = 60.766 \quad S_{bjj} = 45.274$$

$ y_i - yp1_i  =$
55.533
43.273
60.178
55.918
25.887
22.628
14.532
1.273
348.948
368.612
82.055
91.236
41.853
131.497
345.78
75.22
75.22
75.22
75.22
75.22

$$t_0 := \frac{|b_0|}{S_{b0}} \quad t_1 := \frac{|b_1|}{S_{b1}} \quad t_2 := \frac{|b_2|}{S_{b2}} \quad t_3 := \frac{|b_3|}{S_{b3}}$$

$$t_0 = 10.183 \quad t_1 = 0.535 \quad t_2 = 0.308 \quad t_3 = 2.842$$

$$t_{12} := \frac{|b_{12}|}{S_{b_{12}}} \quad t_{13} := \frac{|b_{13}|}{S_{b_{13}}} \quad t_{23} := \frac{|b_{23}|}{S_{b_{23}}}$$

$$t_{12} = 0.004 \quad t_{13} = 0.156 \quad t_{23} = 0.103$$

$$t_{11} := \frac{|b_{11}|}{S_{b_{11}}} \quad t_{22} := \frac{|b_{22}|}{S_{b_{22}}} \quad t_{33} := \frac{|b_{33}|}{S_{b_{33}}}$$

$$t_{11} = 2.125 \quad t_{22} = 1.972 \quad t_{33} = 1.504$$

Табличне значення критерію Стьюдента  $f = 5^3 \alpha = 0,05 \quad t_{\alpha} = 2,57$   
 незначимими є коефіцієнти  $b_{12}, b_{23}, b_{11}$

### Переведення рівняння до натуральної форми

$$x_{1n} := 59 \quad x_{1b} := 71 \quad x_{2n} := 56 \quad x_{2b} := 74 \quad x_{3n} := 7 \quad x_{3d} := 13$$

$$b_0 = 713.77972 \quad b_1 = 24.87039 \quad b_2 = 14.32247 \quad b_3 = 132.17737$$

$$b_{13} = 9.5 \quad b_{22} = -89.29766 \quad b_{33} = -68.07923$$

$$yp1_i := b_0 + b_1 \cdot x_{i,1} + b_2 \cdot x_{i,2} + b_3 \cdot x_{i,3} + b_{13} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,3} + b_{22} \cdot (x_{i,2})^2 + b_{33} \cdot (x_{i,3})^2$$

$$713.78 + 24.87 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x_1 - 59)}{71 - 59} - 1 \right] + 14.32 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x_2 - 64)}{76 - 64} - 1 \right] + 132.2 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x_3 - 5.1)}{6.5 - 5.1} - 1 \right] + 9.5 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x_1 - 56)}{71 - 56} - 1 \right]$$

$$349.6293666666666667 \cdot x_2 - 6.3502380952380952381 \cdot x_1 + 1685.6421768707482993 \cdot x_3 - 2.480305 \cdot x_2^2 - 138.938$$

$$f_1(x_1, x_2, x_3) := 349.6293666666666667 \cdot x_2 - 6.3502380952380952381 \cdot x_1 + 1685.6421768707482993 \cdot x_3 - 2.480305$$

$$f_1(20, 64, 5.1) = 278.46402$$

$$f_1(80, 76, 6.5) = 786.00402$$

$$\cdot (x_{i,2})^2 + b33 \cdot (x_{i,3})^2$$

$$L1 := 7$$

$$\delta_{oct1} := \frac{\sum (y - yp1)^2}{N - L1} \quad \text{foct1} := N - L1 \quad \text{foct1} = 13$$

$$\delta_{oct1} = 3.48225 \times 10^4$$

$$\text{fad1} := \text{foct1} - \text{fbid} \quad \text{fad1} = 8$$

$$\delta_{ad1} := \frac{\text{foct1} \cdot \delta_{oct1} - \text{fbid} \cdot \delta_{bid}}{\text{fad1}} \quad \delta_{ad1} = 38124.0358$$

$$Fp1 := \frac{\delta_{ad1}}{\delta_{bid}} \quad Fp1 = 1.29058 \quad \text{Ft} := 5.1$$

$$\delta_{bid} = 29540.166667$$

$$\cdot \left[ \frac{2 \cdot (x3 - 5.1)}{6.5 - 5.1} - 1 \right] - 89.29098 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x2 - 64)}{76 - 64} - 1 \right]^2 - 68.08 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x3 - 5.1)}{6.5 - 5.1} - 1 \right]^2$$

$$77551020408163 \cdot x3^2 + 1.8095238095238095238 \cdot x1 \cdot x3 - 16979.030384353741497$$

$$i \cdot x2^2 - 138.93877551020408163 \cdot x3^2 + 1.8095238095238095238 \cdot x1 \cdot x3 - 16979.030384353741497$$

## Розрахунок рівняння регресії для редукувальних речовин

$K := 3$   $N := 20$   $n0 := 6$   $ORIGIN := 1$

Ротатабельний план  
другого порядку при  $k=3$

$$x := \begin{pmatrix} i := 1..N & i := 1..K \\ -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ -1.682 & 0 & 0 \\ 1.682 & 0 & 0 \\ 0 & -1.682 & 0 \\ 0 & 1.682 & 0 \\ 0 & 0 & -1.682 \\ 0 & 0 & 1.682 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 3.7 \\ 4.4 \\ 3.7 \\ 4.4 \\ 6.9 \\ 8.3 \\ 6.9 \\ 8.3 \\ 4.9 \\ 6.7 \\ 5.85 \\ 5.9 \\ 2.9 \\ 8.7 \\ 5.7 \\ 10.4 \\ 10.4 \\ 10.4 \\ 10.4 \\ 10.4 \end{pmatrix}$$

Дані для розрахунку  
коефіцієнтів регресії

$$a1 := 0.166338$$

$$a2 := 0.056791$$

$$a3 := 0.073224$$

$$a4 := 0.125$$

$$a5 := 0.0625$$

$$a6 := 0.006889$$

$$a7 := 0.056791$$

### Розрахунок коефіцієнтів регресії

$$b0 := a1 \cdot \sum_i y_i - a2 \cdot \left[ \sum_i [(x_{i,1})^2 \cdot y_i] + \sum_i [(x_{i,2})^2 \cdot y_i] + \sum_i [(x_{i,3})^2 \cdot y_i] \right]$$

$$b1 := a3 \cdot \sum_i (x_{i,1} \cdot y_i) \quad b2 := a3 \cdot \sum_i (x_{i,2} \cdot y_i) \quad b3 := a3 \cdot \sum_i (x_{i,3} \cdot y_i)$$

$$b0 = 9.60781$$

$$b1 = 0.52923$$

$$b2 = 0.00616$$

$$b3 = 1.75412$$

$$b12 := a4 \cdot \sum_i (x_{i,1} \cdot x_{i,2} \cdot y_i) \quad b13 := a4 \cdot \sum_i (x_{i,1} \cdot x_{i,3} \cdot y_i) \quad b23 := a4 \cdot \sum_i (x_{i,2} \cdot x_{i,3} \cdot y_i)$$

$$q := a6 \cdot \left[ \sum_i [(x_{i,1})^2 \cdot y_i] + \sum_i [(x_{i,2})^2 \cdot y_i] + \sum_i [(x_{i,3})^2 \cdot y_i] \right] - a7 \cdot \sum_i y_i$$

$$b_{11} := a_5 \cdot \sum_i [(x_{i,1})^2 \cdot y_i] + q \quad b_{22} := a_5 \cdot \sum_i [(x_{i,2})^2 \cdot y_i] + q \quad b_{33} := a_5 \cdot \sum_i [(x_{i,3})^2 \cdot y_i] + q$$

$$\begin{aligned} b_{12} &= 0 & b_{13} &= 0.175 & b_{23} &= 0 \\ b_{11} &= -1.3 & b_{22} &= -1.27376 & b_{33} &= -1.30028 \end{aligned}$$

$$y_{pi} := b_0 + b_1 \cdot x_{i,1} + b_2 \cdot x_{i,2} + b_3 \cdot x_{i,3} + b_{12} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,2} + b_{13} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,3} + b_{23} \cdot x_{i,2} \cdot x_{i,3} + b_{11} \cdot (x_{i,1})^2 + b_{22}$$

$$y_{p1i} := b_0 + b_1 \cdot x_{i,1} + b_2 \cdot x_{i,2} + b_3 \cdot x_{i,3} + b_{13} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,3} + b_{22} \cdot (x_{i,2})^2 + b_{33} \cdot (x_{i,3})^2$$

### Розрахунок дисперсій відтворення, остаточної, адекватності і критерію Фішера

$y_{0s} := \frac{\sum_{i=15}^{20} y_i}{n_0}$	$y_{0s} = 9.61667$	$L := 10$		
$\delta_{bid} := \frac{\sum_{i=15}^{20} (y_i - y_{0s})^2}{n_0 - 1}$	$\delta_{bid} = 3.681667$	$fbid := n_0 - 1$	$fbid = 5$	
$\delta_{oct} := \frac{\sum (y - y_p)^2}{N - L}$	$\delta_{oct} = 1.85855$	$foct := N - L$	$foct = 10$	
$\delta_{ad} := \frac{foct \cdot \delta_{oct} - fbid \cdot \delta_{bid}}{fad}$	$\delta_{ad} = 0.03544$	$fad := foct - fbid$	$fad = 5$	
$F_p := \frac{\delta_{ad}}{\delta_{bid}}$	$F_p = 0.00963$	$F_t := 5.1$		

$y_{pi} =$	$y_{p1i} =$
3.619	4.919
4.327	5.628
3.631	4.932
4.34	5.64
6.777	8.078
8.186	9.486
6.79	8.09
8.198	9.498
5.039	8.718
6.819	10.498
5.994	5.994
6.015	6.015
2.979	2.979
8.88	8.88
9.608	9.608
...	...

### Перевірка значущості коефіцієнтів рівняння по критерію Стьюдента

$$\begin{aligned} S_{b0} &:= \sqrt{a_1 \cdot \delta_{bid}} & S_{bj} &:= \sqrt{a_3 \cdot \delta_{bid}} & S_{buj} &:= \sqrt{a_4 \cdot \delta_{bid}} & S_{bjj} &:= \sqrt{(a_5 + a_6) \cdot \delta_{bid}} \\ S_{b0} &= 0.783 & S_{bj} &= 0.519 & S_{buj} &= 0.678 & S_{bjj} &= 0.505 \end{aligned}$$





## Розрахунок рівняння регресії для зольності

$K := 3$     $N := 20$     $n0 := 6$     $ORIGIN := 1$

Ротатабельний план другого  
порядку при  $k=3$

$$x := \begin{matrix} & i := 1..N & i := 1..K \\ \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ -1.682 & 0 & 0 \\ 1.682 & 0 & 0 \\ 0 & -1.682 & 0 \\ 0 & 1.682 & 0 \\ 0 & 0 & -1.682 \\ 0 & 0 & 1.682 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & y := \begin{pmatrix} 0.68 \\ 0.77 \\ 0.68 \\ 0.77 \\ 0.96 \\ 1.24 \\ 0.96 \\ 1.24 \\ 0.82 \\ 0.97 \\ 0.9 \\ 0.9 \\ 0.51 \\ 1.36 \\ 0.85 \\ 1.4 \\ 1.4 \\ 1.4 \\ 1.4 \\ 1.4 \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

Дані для розрахунку коефіцієнтів  
регресії

$$a1 := 0.166338$$

$$a2 := 0.056791$$

$$a3 := 0.073224$$

$$a4 := 0.125$$

$$a5 := 0.0625$$

$$a6 := 0.006889$$

$$a7 := 0.056791$$

### Розрахунок коефіцієнтів регресії

$$b0 := a1 \cdot \sum_i y_i - a2 \cdot \left[ \sum_i [(x_{i,1})^2 \cdot y_i] + \sum_i [(x_{i,2})^2 \cdot y_i] + \sum_i [(x_{i,3})^2 \cdot y_i] \right]$$

$$b1 := a3 \cdot \sum_i (x_{i,1} \cdot y_i) \quad b2 := a3 \cdot \sum_i (x_{i,2} \cdot y_i) \quad b3 := a3 \cdot \sum_i (x_{i,3} \cdot y_i)$$

$$b0 = 1.30725$$

$$b1 = 0.07266$$

$$b2 = 0$$

$$b3 = 0.21452$$

$$b12 := a4 \cdot \sum_i (x_{i,1} \cdot x_{i,2} \cdot y_i) \quad b13 := a4 \cdot \sum_i (x_{i,1} \cdot x_{i,3} \cdot y_i) \quad b23 := a4 \cdot \sum_i (x_{i,2} \cdot x_{i,3} \cdot y_i)$$

$$q := a6 \cdot \left[ \sum_i [(x_{i,1})^2 \cdot y_i] + \sum_i [(x_{i,2})^2 \cdot y_i] + \sum_i [(x_{i,3})^2 \cdot y_i] \right] - a7 \cdot \sum_i y_i$$

$$b_{11} := a_5 \cdot \sum_i [(x_{i,1})^2 \cdot y_i] + q \quad b_{22} := a_5 \cdot \sum_i [(x_{i,2})^2 \cdot y_i] + q \quad b_{33} := a_5 \cdot \sum_i [(x_{i,3})^2 \cdot y_i] + q$$

$$\begin{aligned} b_{12} &= 0 & b_{13} &= 0.0475 & b_{23} &= 0 \\ b_{11} &= -0.14 & b_{22} &= -0.13865 & b_{33} &= -0.12628 \end{aligned}$$

$$y_{pi} := b_0 + b_1 \cdot x_{i,1} + b_2 \cdot x_{i,2} + b_3 \cdot x_{i,3} + b_{12} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,2} + b_{13} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,3} + b_{23} \cdot x_{i,2} \cdot x_{i,3} + b_{11} \cdot (x_{i,1})^2 + b_{22}$$

$$y_{p1i} := b_0 + b_1 \cdot x_{i,1} + b_2 \cdot x_{i,2} + b_3 \cdot x_{i,3} + b_{12} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,2} + b_{23} \cdot x_{i,2} \cdot x_{i,3} + b_{22} \cdot (x_{i,2})^2 + b_{33} \cdot (x_{i,3})^2$$

### Розрахунок дисперсій відтворення, остаточної, адекватності і критерію Фішера

$y_{0s} := \frac{\sum_{i=15}^{20} y_i}{n_0}$	$y_{0s} = 1.30833$	$L := 10$		
$\delta_{bid} := \frac{\sum_{i=15}^{20} (y_i - y_{0s})^2}{n_0 - 1}$	$\delta_{bid} = 0.050417$	$f_{bid} := n_0 - 1$	$f_{bid} = 5$	
$\delta_{oct} := \frac{\sum (y - y_p)^2}{N - L}$	$\delta_{oct} = 0.0276$	$f_{oct} := N - L$	$f_{oct} = 10$	
$\delta_{ad} := \frac{f_{oct} \cdot \delta_{oct} - f_{bid} \cdot \delta_{bid}}{f_{ad}}$	$\delta_{ad} = 0.00479$	$f_{ad} := f_{oct} - f_{bid}$	$f_{ad} = 5$	
$F_p := \frac{\delta_{ad}}{\delta_{bid}}$	$F_p = 0.09497$	$F_t := 5.1$		

$y_{pi} =$	$y_{p1i} =$
0.662	0.755
0.713	0.9
0.662	0.755
0.713	0.9
0.996	1.184
1.237	1.33
0.996	1.184
1.237	1.33
0.788	1.185
1.032	1.429
0.915	0.915
0.915	0.915
0.589	0.589
1.311	1.311
1.307	1.307
...	...

### Перевірка значущості коефіцієнтів рівняння по критерію Стьюдента

$$\begin{aligned} S_{b0} &:= \sqrt{a_1 \cdot \delta_{bid}} & S_{bj} &:= \sqrt{a_3 \cdot \delta_{bid}} & S_{buj} &:= \sqrt{a_4 \cdot \delta_{bid}} & S_{bjj} &:= \sqrt{(a_5 + a_6) \cdot \delta_{bid}} \\ S_{b0} &= 0.092 & S_{bj} &= 0.061 & S_{buj} &= 0.079 & S_{bjj} &= 0.059 \end{aligned}$$

$$t_0 := \frac{|b_0|}{Sb_0} \quad t_1 := \frac{|b_1|}{Sb_j} \quad t_2 := \frac{|b_2|}{Sb_j} \quad t_3 := \frac{|b_3|}{Sb_j}$$

$$t_0 = 14.275 \quad t_1 = 1.196 \quad t_2 = 0 \quad t_3 = 3.531$$

$$t_{12} := \frac{|b_{12}|}{Sb_{uj}} \quad t_{13} := \frac{|b_{13}|}{Sb_{uj}} \quad t_{23} := \frac{|b_{23}|}{Sb_{uj}}$$

$$t_{12} = 0 \quad t_{13} = 0.598 \quad t_{23} = 0$$

$$t_{11} := \frac{|b_{11}|}{Sb_{jj}} \quad t_{22} := \frac{|b_{22}|}{Sb_{jj}} \quad t_{33} := \frac{|b_{33}|}{Sb_{jj}}$$

$$t_{11} = 2.374 \quad t_{22} = 2.344 \quad t_{33} = 2.135$$

$ y_i - y_{p1_i}  =$
0.075
0.13
0.075
0.13
0.224
0.09
0.224
0.09
0.365
0.459
0.015
0.015
0.079
0.049
0.457
0.093
0.093
0.093
0.093
0.093

Табличне значення критерію Стьюдента  $f = 5^3 \alpha = 0,05 \quad t_{st} = 2,57$   
 незначимими є коефіцієнти  $b_{13}, b_{11}$

### Переведення рівняння до натуральної форми

$$x_{1n} := 20 \quad x_{1b} := 80 \quad x_{2n} := 64 \quad x_{2b} := 76 \quad x_{3n} := 5.1 \quad x_{3d} := 6.5$$

$$b_0 = 1.30725 \quad b_1 = 0.07266 \quad b_2 = 0 \quad b_3 = 0.21452$$

$$b_{12} = 0 \quad b_{23} = 0 \quad b_{22} = -0.13865 \quad b_{33} = -0.12628$$

$$y_{p1_i} := b_0 + b_1 \cdot x_{i,1} + b_2 \cdot x_{i,2} + b_3 \cdot x_{i,3} + b_{12} \cdot x_{i,1} \cdot x_{i,2} + b_{23} \cdot x_{i,2} \cdot x_{i,3} + b_{22} \cdot (x_{i,2})^2 + b_{33} \cdot (x_{i,3})^2$$

$$1.30725 + 0.07266 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x_1 - 59)}{71 - 59} - 1 \right] + 0 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x_2 - 64)}{76 - 64} - 1 \right] + 0.21452 \left[ \frac{2 \cdot (x_3 - 5.1)}{6.5 - 5.1} - 1 \right] + 0 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x_1 - 56)}{71 - 56} - 1 \right]$$

$$0.53919444444444444444444444444444 \cdot x_2 - 0.0038513888888888888888889 \cdot x_2^2 - 0.25771428571428571429 \cdot x_3^2 + 3.29594285714285$$

$$f_1(x_1, x_2, x_3) := 0.53919444444444444444444444444444 \cdot x_2 - 0.0038513888888888888888889 \cdot x_2^2 - 0.25771428571428571429 \cdot x_3^2 +$$

$$f_1(20, 64, 5.1) = 0.28285$$

$$f1(80, 76, 6.5) = 1.43849$$

$$\cdot (x_{i,2})^2 + b33 \cdot (x_{i,3})^2$$

$$L1 := 8$$

$$\delta_{oct1} := \frac{\sum (y - y_{p1})^2}{N - L1} \quad \text{foct1} := N - L1 \quad \text{foct1} = 12$$

$$\delta_{oct1} = 0.06396$$

$$\text{fad1} := \text{foct1} - \text{fbid} \quad \text{fad1} = 7$$

$$\delta_{ad1} := \frac{\text{foct1} \cdot \delta_{oct1} - \text{fbid} \cdot \delta_{bid}}{\text{fad1}} \quad \delta_{ad1} = 0.07363$$

$$Fp1 := \frac{\delta_{ad1}}{\delta_{bid}} \quad Fp1 = 1.46034 \quad \underline{Ft} := 5.1$$

$$\left[ \frac{2 \cdot (x3 - 5.1)}{6.5 - 5.1} - 1 \right] - 0.13865 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x2 - 64)}{76 - 64} - 1 \right]^2 - 0.12628 \cdot \left[ \frac{2 \cdot (x3 - 5.1)}{6.5 - 5.1} - 1 \right]^2$$

$$571429 \cdot x3 + 0.01211 \cdot x1 - 28.798665555555555556$$

$$3.2959428571428571429 \cdot x3 + 0.01211 \cdot x1 - 28.798665555555555556$$

# Програма Оптимізації

## Метод Харрінгтона

$z = 1$ , коли FN збільшується, і 0, коли зменшується

```

XAR(FN,D,fn,z) := Fr ← -ш(-ш(ν))
if z = 1
  fb ← D0 if fn < FN0
  fb ← D5 if fn > FN5
  for i ∈ 0,1..5
    if fn = FNi
      fb ← Di
      break
    if fn < FNi+1
      fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
      fb ← e-e-fp
      break
  otherwise
  fb ← D0 if fn > FN0
  fb ← D5 if fn < FN5
  for i ∈ 0,1..5
    if fn = FNi
      fb ← Di
      break
    if fn > FNi+1
      fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
      fb ← e-e-fp
      break
fb
  
```

Зола

$$f1(x1, x2, x3) := 0.53919444444444444444 \cdot x2 - 0.003851388888888888889 \cdot x2^2 - 0.2577142857$$

кольоровість

$$f2(x1, x2, x3) := 349.6293666666666666667 \cdot x2 - 6.3502380952380952381 \cdot x1 + 1685.64217687074$$

PP

$$f3(x1, x2, x3) := 4.9545377777777777778 \cdot x2 - 0.10512833333333333333 \cdot x1 + 31.1713578231$$

$$a11 := 50 \quad b11 := 70 \quad a22 := 8 \quad b22 := 15 \quad nn := 20$$

$$h11 := \frac{b11 - a11}{nn} \quad h22 := \frac{b22 - a22}{nn}$$

$$k := 0..nn \quad m := 0..nn$$

$$P1_k := a11 + k \cdot h11 \quad P2_m := a22 + m \cdot h22$$

$$D := (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T$$

$$EO := (0.04 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.49 \ 0.68 \ 0.75)^T$$

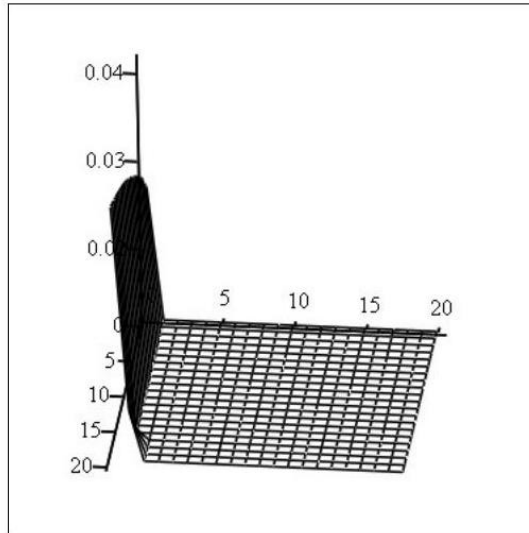
$$KO := (320 \ 522.5 \ 625 \ 825.5 \ 930 \ 1035)^T$$

$$RR := (1 \ 2 \ 4 \ 5 \ 6.5 \ 7.5)^T$$

$$Y1_{k,m} := f1(P1_k, 60, P2_m) \quad Y2_{k,m} := f2(P1_k, 60, P2_m) \quad Y3_{k,m} := f3(P1_k, 60, P2_m)$$

$$ff1_{k,m} := \text{XAR}(EO, D, Y1_{k,m}, 1) \quad ff2_{k,m} := \text{XAR}(KO, D, Y2_{k,m}, 1) \quad ff3_{k,m} := \text{XA}$$

$$FF_{k,m} := (ff1_{k,m})^{0.3} \cdot (ff2_{k,m})^{0.3} \cdot (ff3_{k,m})^{0.35}$$



FF

ie

```

OPT2(F,n,a1,a2,h1,h2) :=
  MA ← F1,1
  im ← 1
  jm ← 1
  for i1 ∈ 0..n
    for j1 ∈ 0..n
      if Fi1,j1 > MA
        MA ← Fi1,j1
        im ← i1
        jm ← j1
  x1m ← a1 + h1·(im - 1)
  x2m ← a2 + h2·(jm - 1)
  z0 ← MA
  z1 ← x1m
  z2 ← x2m
  z
  OPT2(FF,nn,a11,a22,h11,h22) =  $\begin{pmatrix} 0.041 \\ 69 \\ 7.65 \end{pmatrix}$ 

```



## ДОДАТОК В

Вимоги ДСТУ сировини цукрового виробництва - до цукрових буряків.

Показник	Допустимий рівень	Нормативний документ
Ртуть	не більше 0,01 мг/кг	"Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах" № 774/23306
Свинець	не більше 1,0 мг/кг	"Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах" № 774/23306
Кадмій	не більше 0,05 мг/кг	"Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах" № 774/23306
Миш'як	не більше 0,2 мг/кг	"Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах" № 774/23306
Мідь	не більше 5,0 мг/кг	"Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і продуктів харчування" № 5061-89
Цинк	не більше 10,0 мг/кг	"Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і продуктів харчування" № 5061-89

Назва пестициду	Допустимий рівень	Нормативний документ
Агрокіппер КЕ	не більше 0,05 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337
Альто 240ЕС КЕ	не більше 0,1 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337
Бельведер Форте СЕ	не більше 0,2 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337
Болівер Форте КС	не більше 0,01 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337
Брокер РК	не більше 0,1 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і

Назва пестициду	Допустимий рівень	Нормативний документ
		агрохімікатів" №207/28337
Конвізо ОД	не більше 0,01 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337
Круз 350	не більше 0,05 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337
Піктор Актів	не більше 0,01 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337
Селеніт Макс КЕ	не більше 0,1 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337
Центуріон Профі КЕ	не більше 0,1 мг/кг	"Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів" №207/28337

Показник	Допустимий рівень	Нормативний документ
Цезій-137	не більше 40 Бк/кг	ГН 6.6.1.1-130-2006 "Допустимі рівні вмісту радіонуклідів цезію-137 та стронцію-90 у продуктах харчування та питній воді"
Стронцій-90	не більше 20 Бк/кг	ГН 6.6.1.1-130-2006 "Допустимі рівні вмісту радіонуклідів цезію-137 та стронцію-90 у продуктах харчування та питній воді"

Показник	Норма	Метод контролю
Вміст сахарози, %, не менше	14,0	Поляриметричний
Загальне забруднення, %, не більше	15,0	Ваговий
Вміст цукрози у немитих коренеплодах, %, не менше	16,0	Поляриметричний
Вміст гнилих коренеплодів, %, не більше	10,0	Візуальний
Вміст підмерзлих коренеплодів, %, не більше	5,0	Візуальний
Вміст зеленої маси, %, не більше	3,0	Ваговий

Матеріал	Нормативний документ	Вимоги
Вода технічна - застосовується для очищення обладнання, охолодження та інших технічних потреб.	ДСТУ 7525:2014	Не повинна містити механічних домішок, що можуть пошкодити обладнання. Жорсткість води контролюється для запобігання утворенню накипу в теплообмінному обладнанні
Повітря (гаряче, холодне) для сушіння та охолодження цукру-піску	ДСТУ ISO 8573-1:2010	Клас чистоти повітря: не нижче класу 2 за вмістом твердих частинок Вміст часток розміром >5 мкм: не більше 100000 на м <sup>3</sup> Вміст вологи: точка роси не вище -40°C для сухого повітря Вміст олії: не більше 0,1 мг/м <sup>3</sup> Відсутність мікробіологічних забруднень Температурні параметри: Гаряче повітря: 90-105°C Холодне повітря: 25-35°C
Освітлена вода	ДСанПіН 2.2.4-171-10	pH 6,5-7,5
Вапно для очищення дифузійного соку	ДСТУ Б В.2.7-90:201	Вміст активних CaO та MgO: не менше 70% Вміст непогашених зерен: не більше 7% Швидкість гасіння: 5-15 хвилин Температура гасіння: не менше 60°C
Антисептик - використовується для запобігання розвитку мікроорганізмів у цукрових розчинах та на обладнанні.	ДСТУ 4623:2023	Повинен бути дозволений для використання в харчовій промисловості та відповідати санітарним нормам. pH робочих розчинів: нейтральний або слаболужний (6,5-8,0) Токсичність: низька Залишковий вміст у готовому продукті: не допускається або в межах ГДК
SO <sub>2</sub> для сульфатації з метою знебарвлення та пригнічення розвитку мікроорганізмів.	ДСТУ 4817:2007	Чистота: не менше 98,8% згідно з ДСТУ 4817:2007 Домішки: сірководень (H <sub>2</sub> S) не більше 0,05%

		<p>Вміст вологи: не більше 0,1%</p> <p>Фізичний стан: газ (при нормальних умовах), що може зберігатись у зрідженому стані під тиском</p>
Аміачна вода - використовується для нейтралізації надлишкової кислотності в процесі очищення дифузійного соку	ДСТУ 4623:2023	рН 11-13 використовують розчин з концентрацією 25% відсутність сторонніх домішок та важких металів
Барометрична вода - використовується у вакуум-апаратах та конденсаторах.	ДСТУ 4623:2023	<p>рН 6,5-7,5</p> <p>температура: зазвичай 20-25°C</p> <p>низька жорсткість</p> <p>Механічні домішки: мінімальні, допускається не більше 5-10 мг/л</p>
Живильна вода - застосовується для парових котлів та випарної станції.	ДСТУ 4623:2023	<p>рН: 8,5-9,5</p> <p>Жорсткість: не більше 0,02 мг-екв/л</p> <p>Вміст кисню: не більше 0,05 мг/л</p> <p>Вміст солей заліза: не більше 0,05 мг/л</p> <p>Прозорість: повна відсутність механічних домішок</p>
Піногасник для зниження піноутворення при уварюванні утфелів	ТУ У 24.6-13490574-002:2005	<p>Густина: 900-980 кг/м<sup>3</sup></p> <p>Кінематична в'язкість: 30-70 мм<sup>2</sup>/с</p> <p>Вміст важких металів: відповідно до регламенту ЄС №1881/2006</p>

## ДОДАТОК Г

<b>Вид та назва продукції</b>	<b>Цукор білий кристалічний</b>													
<p>Позначення та назва законодавчих і нормативних документів, які встановлюють вимоги до безпечності продукції</p>	<p>ДСТУ 4623:2023 Цукор білий. Технічні умови.                      Закон України Про основи принципів вимог до безпечності та якості харчових продуктів, № 771/97-ВР                      Закон України Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів, № 8450 від 07.06.2018                      Наказ № 548 від 19.07.2012р. “Про затвердження Мікробіологічних критеріїв для встановлення показників безпечності харчових продуктів Наказ № 1140 від 29.12.2012 року “Про затвердження Державних санітарних норм та правил “Медичні вимоги до якості та безпечності харчових продуктів та продовольчої сировини”.</p> <p>Технічний регламент щодо правил маркування харчових продуктів, наказ ДССУ № 487 від 28.10.2010, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 11 лютого 2011 р. за N 183/18921                      ПУП 15.83-37-106:2007                      Правила усталеної практики. Технологічний процес виробництва цукру з цукрових буряків.</p>													
<p>Склад продукції</p>	<p>Однокомпонентний (очищена і кристалізована сахароза у вигляді окремих кристалів (кристалічний цукор))</p>													
<p>Біологічні характеристики</p>	<p>За мікробіологічними показниками цукор для окремих споживачів (виробництво продуктів дитячого харчування, молочних консервів та біофармацевтичної промисловості) повинен відповідати вимогам, які вказані в таблиці:</p> <table border="1" data-bbox="491 1346 1468 1989"> <thead> <tr> <th data-bbox="491 1346 981 1433">Назва показника</th> <th data-bbox="981 1346 1468 1433">Значення</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="491 1433 981 1603">Кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1 г, не більше ніж</td> <td data-bbox="981 1433 1468 1603">1,0 x 10<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1603 981 1691">Плісневі гриби, КУО в 1 г, не більше ніж</td> <td data-bbox="981 1603 1468 1691">1,0 x 10</td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1691 981 1778">Дріжджі, КУО в 1 г, не більше ніж</td> <td data-bbox="981 1691 1468 1778">1,0 x 10</td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1778 981 1865">Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) в 1 г</td> <td data-bbox="981 1778 1468 1865">Не допустимо</td> </tr> <tr> <td data-bbox="491 1865 981 1989">Патогенні мікроорганізми, зокрема й бактерії роду <i>Salmonella</i>, у 25 г</td> <td data-bbox="981 1865 1468 1989">Не допустимо</td> </tr> </tbody> </table>		Назва показника	Значення	Кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1 г, не більше ніж	1,0 x 10 <sup>3</sup>	Плісневі гриби, КУО в 1 г, не більше ніж	1,0 x 10	Дріжджі, КУО в 1 г, не більше ніж	1,0 x 10	Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) в 1 г	Не допустимо	Патогенні мікроорганізми, зокрема й бактерії роду <i>Salmonella</i> , у 25 г	Не допустимо
Назва показника	Значення													
Кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1 г, не більше ніж	1,0 x 10 <sup>3</sup>													
Плісневі гриби, КУО в 1 г, не більше ніж	1,0 x 10													
Дріжджі, КУО в 1 г, не більше ніж	1,0 x 10													
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) в 1 г	Не допустимо													
Патогенні мікроорганізми, зокрема й бактерії роду <i>Salmonella</i> , у 25 г	Не допустимо													

Фізичні характеристики	За органолептичними показниками цукор повинен відповідати вимогам, які вказані в таблиці:				
	Назва показника		Характеристика		
	Зовнішній вигляд		Білий, чистий без плям і сторонніх домішок, для напівбілого цукру допустимо жовтуватий відтінок. Кристалічний цукор має бути сипким, без грудочок. Для напівбілого цукру допустимо грудочки, що розпадаються в разі легкого натискання		
	Запах і смак		Солодкий без сторонніх запаху і присмаку як у сухому цукрі, так і в його водному розчині, для напівбілого цукру допустимо слабкий запах меляси		
Чистота розчину		Розчин цукру має бути прозорим, без нерозчинного осаду, механічних та інших домішок. Для напівбілого цукру допустимо опалесценцію. Чистоту розчину для цукрової пудри не визначають			
Зафізико-хімічними показниками цукор кристалічний повинен відповідати вимогам, які вказані в таблиці:					
Назва показника		Екстра білий цукор	Білий цукор		Напівбілий цукор
			кат.	I кат	
Поляризація, %, не менше ніж		99,8	99,7	99,7	99,5
Інвертний цукор, %, не		0,04	0,04	0,04	0,065

більше ніж: до кількості продукту				
Вологість (втрати висушуванням), %, до кількості продукту, не більше ніж:				
Кристалічного Цукру	0,06	0,06	0,06	0,10
Сахарози для шампанського	0,06	0,06	0,06	-
Цукрової пудри	0,2	0,2	0,2	-
Кондуктометрична зола (у перерахуванні на сухі речовини), не більше ніж: %	0,0108	0,027	0,04	0,05
Балів	6,0	15,0	22,2	-
Кольоровість у розчині, не більше ніж: одиниць ICUMSA	22,5	45,0	90,0	195,0
Балів	3	6	12	-
Умовних одиниць	-	-	-	1,5
Кольоровість у кристалічному вигляді, заеталоном, не більше ніж:	2	3	4	
У балах не більше ніж:	4	6	8	-
Загальна сума в балах, не більше ніж	8	22	30	-
Уміст феродомішок, % до кількості продукту, не більше ніж	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Величина окремих частинок феродомішок,	0,5	0,5	0,5	0,5

	<p>у найбільшому лінійному вимірі, мм, не більше ніж</p> <p>Кристалічний цукор для виробництва молочних консервів, продуктів дитячого харчування і біофармацевтичної промисловості за показниками якості повинен відповідати нормам не нижче, ніж для цукру другої та третьої категорій.</p> <p>Масова частка вологи кристалічного цукру, призначеного для пакування в м'які спеціалізовані контейнери і для тривалого зберігання, під час відвантажування не повинна бути більше ніж 0,10%.</p> <p>Не допускається наявність сторонніх предметів та домішок (залишки пакувальних матеріалів, скло, камінці, комахи, відходи життєдіяльності гризунів і т.п.)</p>										
Хімічні характеристики	<p>Вміст токсичних елементів у цукрі не повинен перевищувати допустимих рівнів, наведених у таблиці:</p> <table border="1" data-bbox="496 1043 1461 1305"> <thead> <tr> <th>Назва показника</th> <th>Допустимий рівень вмісту, мг/кг, не більше ніж</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ртуть</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>миш'як</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>свинець</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>кадмій</td> <td>0,05</td> </tr> </tbody> </table> <p>Вміст пестицидів та радіонуклідів контролюють в сировині</p>	Назва показника	Допустимий рівень вмісту, мг/кг, не більше ніж	ртуть	0,01	миш'як	1	свинець	0,5	кадмій	0,05
Назва показника	Допустимий рівень вмісту, мг/кг, не більше ніж										
ртуть	0,01										
миш'як	1										
свинець	0,5										
кадмій	0,05										
Алергени	Вміст двоокису сірки не більше 10 мг/кг										
Термін придатності до споживання	Термін придатності до споживання упакованого білого кристалічного цукру (у складах) - 5 років із дати виготовлення (рік), без упаковки (у силосах) - 2 роки з дати виготовлення, білого пресованого цукру - 2 роки з дати виготовлення, цукрової пудри - 2 роки з дати виготовлення.										
Умови зберігання	<p>Зберігати в чистих, сухих, не заражених шкідниками приміщеннях при температурі не вище 40 С та відносній вологості повітря не вище 70% на рівні нижнього ряду упакованого цукру.</p> <p>Упакований цукор зберігають у складах, без упаковки (насіпом) - у силосах</p> <p>Склади для зберігання цукру повинні відповідати санітарним вимогам, затвердженим у встановленому порядку. Перед укладанням цукру на зберігання склади повинні бути ретельно очищені, провітрені та просушені.</p>										

	<p>Заборонено зберігати цукор разом з іншими матеріалами і продуктами з різким, специфічним запахом.</p> <p>Мішки з цукром на складах з цементною або асфальтованою підлогою треба укладати на піддони, покриті чистим брезентом, рогожею, мішковиною або папером.</p> <p>Дозволено укладати мішки на асфальтовану або цементну підлогу без піддонів на поліетиленову плівку, яку після укладання штабеля загортають на два нижні ряди</p> <p>Відносна вологість повітря на складі має бути:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- не вище ніж 70 % на рівні нижнього ряду упакованого цукру;</li> <li>- не вище ніж 60 % під час зберігання без пакування (насіпом) у</li> </ul>
Пакування	<p>Кристалічний цукор пакують масою нетто 50 кг, пресований колотий - насіпом масою нетто 40 кг у поліпропіленові мішки або в поліпропіленові мішки з поліетиленовими мішками-вкладишами згідно з ДСТУ 3748.</p>
Маркування стосовно безпечності продукції	<p>Транспортну тару (поліпропіленові мішки) маркують прикріпленням до них ярликів з відходів білої або світлих тонів тканини або синтетичного нетканого матеріалу на основі лавсану, або з інших матеріалів, дозволених МОЗ України.</p> <p>Ярлик накладають на горловину мішки і прошивають одночасно з зашивкою мішки.</p> <p>Транспортне маркування виконують згідно з чинним НД з нанесенням маніпуляційного знаку «Оберігати від вологи».</p> <p>Дозволено суміщати на одному ярлику дані, що характеризують продукт, та маніпуляційний знак розміром 15 мм X 25 мм.</p> <p>Інформація, що наноситься на ярлик, повинна містити на державній мові:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• назву продукту із зазначенням сировини, з якої вироблений цукор;</li> <li>• назву і місце знаходження (юридична адреса, країна) підприємства – виробника, його адресу і номер телефону;</li> <li>• нак для товарів і послуг підприємства-виробника (за наявності);</li> <li>• масу брутто, нетто, кг;</li> <li>• умови зберігання (відносна вологість), %, температура, С;</li> <li>• енергетичну цінність (калорійність), кДж та/або ккал, і поживну цінність (уміст вуглеводів - у грамах) на 100 г продукту;</li> <li>• рік виготовлення;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• позначення нормативного документу, згідно з яким виготовлено і може бути ідентифіковано продукт;</li> <li>• термін придатності до споживання (рік);</li> <li>• № місця (для мішків);</li> <li>• позначення щодо квоти «А»;</li> </ul>
Методи розповсюдження (реалізації) продукції	<p>Облаштованим автотранспортом та залізничними вагонами відповідно до Правил перевезення вантажів.</p> <p>Криті вагони, контейнери повинні бути сухі, без щілин, з дахом, який не протікає, з люками і дверима, що добре закриваються.</p> <p>Не допустимо перевозити цукор у брудних вагонах, контейнерах і трюмах зі слідами забруднювальних вантажів (вугілля, вапно, цемент, сіль тощо), отруйних та із сильним запахом вантажів, а також у хоперах, контейнерах і трюмах, які не просохли після фарбування або зберігають запах фарби.</p>
Використання за призначенням	<p>Використання в системі ресторанного господарства та для промислового перероблення в різних галузях харчової промисловості (кондитерській, хлібопекарській, молочній, харчоконцентратній, біофармацевтичній), для виробництва лікеро-горілчаних і безалкогольних напоїв та продуктів дитячого харчування тощо.</p>
Уразливі групи споживачів	<p>Будь-які особи, які мають протипоказання до вживання або застереження щодо обмеженого вживання цукру за станом здоров'я (хворі на цукровий діабет тощо).</p>

## ДОДАТОК Д

Аналіз факторів продуктового відділення цукрового заводу на наявність ККТ.

Найменування фактору	Присутність	Ймовірність, P	Серйозність наслідків, S	Коефіцієнт $K = P \times S$	ККТ
Будівельні матеріали	ТАК	0.2	1	0.2	НІ
Птахи, гризуни, комахи і відходи їх життєдіяльності	ТАК	0.1	2	0.2	НІ
Особисті речі	ТАК	0.1	1	0.1	НІ
Відходи життєдіяльності персоналу	ТАК	0.1	3		НІ
Елементи технологічного оснащення	ТАК	0.1	2	0.2	НІ
Продукти зносу машин і обладнання	ТАК	0.2	1	0.2	НІ
Металодомішки	ТАК	0.3	3	0.9	ТАК
Вода	ТАК	0.3	1	0.3	НІ
Папір і упаковочні матеріали	ТАК	0.3	1	0.3	НІ
Елементи миючих засобів	ТАК	0.1	3	0.3	НІ
Елементи дезінфікуючих засобів	ТАК	0.1	3	0.3	НІ
Елементи технологічних реагентів	ТАК	0.1	0.2	0.2	НІ
Осад	НІ	---	---	---	---
Уламки скла	НІ	---	---	---	---
Забруднення мастильними матеріалами	НІ	---	---	---	---
Радіонукліди	НІ	---	---	---	---

Мікотоксини	НІ	---	---	---	---
Токсичні елементи	НІ	---	---	---	---
Пестициди	НІ	---	---	---	---
КМАФАнМ (мезофільно-аеробні, факультативно- анаеробні мікроорганізми)	НІ	---	---	---	---
БГКП (бактерії групи кишечник паличок (колі форми), в 1 г)	НІ	---	---	---	---
Дріжджі	НІ	---	---	---	---
Патогенні мікроорганізми, в т.ч. бактерії роду <i>Salmonella</i>	НІ	---	---	---	---
Плісеневі гриби	НІ	---	---	---	---

## ДОДАТОК Є

Аналіз ККТ на ключових етапах виробництва у продуктовому відділенні.

№	Етап	Фактор	Тип	P	S	K	ККТ
№1	Сульфитація сиропу з клеровкою	Перенасичення міжкристалічного розчину SO <sub>2</sub>	Хімічний	0.1	3	0.3	Ні
№2	Підігрівання сиропу	Розвиток мікроорганізмів внаслідок порушеного температурного режиму	Біологічний	0.2	1	0.2	Ні
№3	Фільтрація сиропу	Забруднення сиропу внаслідок недостатнього очищення	Фізичний	0.3	1	0.3	Ні
№4	Подача сиропу на збірники	Розвиток мікроорганізмів під час зберігання	Біологічний	0.1	1	0.1	Ні
№5	Уварювання сиропу у вакуум-апаратах	Використання хімічних речовин в затравочній суспенсії	Хімічний	0.1	3	0.3	Ні
№6	Центрифугування сиропу	Потрапляння металодомішок та частин обладнання	Фізичний	0.3	1	0.3	Ні
№7	Транспортування вологого цукру	Потрапляння металодомішок та частин обладнання	Фізичний	0.3	1	0.3	Ні
№8	Сушка цукру та відділення грудочок	Розвиток мікроорганізмів внаслідок надмірної вологості	Біологічний	0.1	3	0.3	Ні

№9	Очистка цукру від металодомішок	Потрапляння часточок металу в готовий продукт	Фізичний	0. 3	3	0. 9	ТА К
№10	Пакування	Потрапляння сторонніх елементів в готовий продукт під час пакування	Фізичний	0. 2	0. 2	0. 4	Ні