

**ВСП «Харківський торговельно-економічний фаховий коледж
Державного торговельно-економічного університету»**

**Циклова комісія харчових технологій, готельно-ресторанної справи
та туризму**

Король Роман Євгенійович

ПІБ здобувача

КУРСОВА РОБОТА

**Інноваційні технології нових видів питного молока збагаченого
вітамінами та мінералами**

тема

Навчальна
дисципліна

Технологія виробництва харчової продукції

назва навчальної дисципліни

Ступінь освіти

Фаховий молодший бакалавр

фаховий молодший бакалавр, молодший бакалавр, бакалавр

Галузь знань

18 Виробництво та технології

шифр і назва галузі знань

Спеціальність

181 Харчові технології

код і найменування спеціальності

Освітньо-професійна
програма

Виробництво харчової продукції

назва освітньо-професійної програми

Академічна група

ТХ-1-22

назва академічної групи

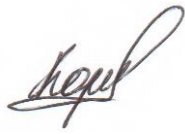
Харків, 2024 рік

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Керівник: Аштаєва Наталія Леонідівна, викладач циклової комісії харчових технологій, готельно-ресторанної справи та туризму, спеціаліст вищої категорії

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

Здобувач :



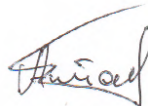
Р. Король

Підсумкова оцінка: _____ 60 _____ (балів)

Члени комісії з захисту:



Н. Аштаєва



О. Аштаєв

**ВСП «Харківський торговельно-економічний фаховий коледж
Державного торговельно-економічного університету»**

Циклова харчових технологій, готельно-ресторанної справи та туризму

Король Роман Євгенійович

ПІБ здобувача

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

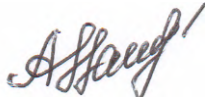
Навчальна дисципліна	<u>Технологія виробництва харчової продукції</u>
	назва навчальної дисципліни
Тема роботи	<u>Інноваційні технології нових видів питного молока збагаченого вітамінами та мінералами</u>
	тема курсової роботи
Термін подання завершеної роботи	<u>29.11.2024 р</u>
	фаховий молодший бакалавр, молодший бакалавр, бакалавр

Графік виконання роботи

Виконання роботи за розділами	Термін виконання
Вибір та затвердження теми	09.09 – 20.09.2024
Добір та аналіз літератури за обраною темою	23.09 – 04.10.2024
Складання плану курсової роботи	7.10 – 11.10.2024
Написання вступу та I розділу	14.10 – 25.10.2024
Написання II розділу курсової роботи	28.10 – 15.11.2024
Написання висновків та оформлення курсової роботи	18.11 – 22.11.2024
Подання курсової роботи керівнику для рецензування (для рекомендації до захисту)	25.11 – 29.11.2024
Захист курсової роботи	02.12 – 06.12.2024

Завдання видав

Науковий керівник,
спеціаліст вищої категорії

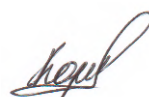


Наталія Аштаєва

(підпис)

Завдання отримав

Здобувач



(підпис)

Р. Король
ПІБ здобувача

«09» вересня 2024 р.

«09» вересня 2024 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	1
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ЗБАГАЧЕНОГО ПИТНОГО МОЛОКА.....	4
1.1. Загальна характеристика, класифікація та асортимент збагаченого питного молока.....	4
1.2. Дослідження та аналіз технологічних процесів виробництва молока, збагаченого вітамінами та мінералами	7
1.3. Економічні та екологічні аспекти інноваційних технологій у виробництві збагаченого питного молока	10
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЗБАГАЧЕНОГО ПИТНОГО МОЛОКА.....	15
2.1. Розробка декомпозицій і принципової технологічної схеми виробництва збагаченого питного молока.....	15
2.2. Аналіз рецептурного складу та технологічної схеми з урахуванням вимог до якості готового збагаченого продукту	19
ВИСНОВКИ	23
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	25

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний стан харчової промисловості вимагає не лише стабільного виробництва молочної продукції, а й активного впровадження інновацій у її асортимент, рецептуру й технологічні процеси. В умовах зростання попиту на продукти з підвищеною біологічною цінністю збагачене питне молоко стає одним із пріоритетних напрямів функціонування молокопереробних підприємств. Йдеться не лише про технологію базового продукту, а про системне виробництво молока, збагаченого кальцієм, магнієм, вітамінами А, D, E, групи В, Омега-3 кислотами, пребіотичними інгредієнтами. Така продукція виконує важливу профілактичну й функціональну роль - особливо для дітей, людей похилого віку, спортсменів і споживачів із підвищеними потребами. З іншого боку, виробництво збагаченого молока вимагає високої технологічної точності, знання біохімічної поведінки активних речовин, контролю їхньої стабільності та біодоступності протягом усього терміну зберігання. Традиційні підходи до пастеризації, гомогенізації, нормалізації не завжди забезпечують повноцінну збереженість вітамінів і мікроелементів. Тому необхідні не лише модернізація технологічних ланок, а й обґрунтування доцільності використання конкретних видів вітамінних і мінеральних добавок, їхньої взаємодії з компонентами молока, впливу термічної та механічної обробки на функціональну ефективність готового продукту. Водночас постає питання енергетичної раціональності, екологічної безпеки й економічної доцільності таких інновацій у виробництві.

Зміна харчової поведінки населення, трансформація споживчого попиту та впровадження концепції здорового харчування на державному рівні зумовлюють потребу в науково-технологічному переосмисленні процесу виробництва збагаченого питного молока. Цей процес має враховувати не лише енергетичні показники, рецептурні параметри та якісні критерії, а й

екологічну відповідальність, економічну ефективність і нормативні вимоги до функціональних харчових продуктів.

Теоретичне підґрунтя. Проблематика виробництва збагаченого молока розкрита в працях Сирохмана І. В., Зубар Н. М., Павлоцької Л. Ф., Самойчука К. О., Самойчук К. О., Ковальова О. О., Коваленка С. В., які присвячені як мікробіологічним аспектам, так і техніко-технологічним рішенням щодо збагачення молочних продуктів вітамінами та мінералами. Сирохман І. В. досліджує якість і безпечність харчових продуктів у розрізі функціональних інгредієнтів, Зубар Н. М. - теоретичні основи технологій, а Павлоцька Л. Ф. - фізіолого-гігієнічне обґрунтування цінності збагаченої продукції. Роботи Крижової Ю. П. і Шевченко І. І. концентруються на рецептурах із підвищеним вмістом кальцію та способах підвищення біодоступності мінералів.

Особливе значення мають експериментальні дослідження струминно-щілинних гомогенізаторів, виконані Самойчуком К. О. та співавторами. У серії публікацій розглядаються параметри диспергування, оцінка енергетичних витрат, стабілізація емульсій та визначення оптимальних умов гомогенізації для збереження активних речовин. Ковалев А. А. і Лебідь М. Р. аналізують інженерні рішення, що дозволяють зменшити втрати при обробці молока, зберегти однорідність збагачених систем. Праці Доценка В. Ф., Євлаша В. В., Головка М. П. надають нормативно-санітарне тло для формування стандартів у галузі функціональних молочних напоїв. Сукупність згаданих джерел забезпечує міждисциплінарну наукову базу для обґрунтованого аналізу й проектування процесів збагачення молока.

Мета дослідження полягає в аналізі сучасних технологічних процесів виробництва збагаченого питного молока, розробці та моделюванні його технологічної схеми, а також обґрунтуванні техніко-економічних та екологічних рішень для забезпечення якості, стабільності та ефективності готового продукту.

Завдання дослідження:

- охарактеризувати класифікацію, асортимент і властивості збагаченого питного молока
- дослідити та проаналізувати технологічні процеси збагачення молока вітамінами й мінералами
- розглянути економічні та екологічні аспекти інноваційних технологій у виробництві
- розробити декомпозицію й побудувати принципову технологічну схему виробництва збагаченого молока
- здійснити аналіз рецептурного складу з урахуванням вимог до якості готової продукції
- проаналізувати технологічну схему відповідно до стандартів безпеки, стабільності й ефективності

Об'єктом дослідження є процес виробництва збагаченого питного молока на сучасних молокопереробних підприємствах.

Предметом дослідження є технологічна схема виробництва збагаченого молока, склад рецептурних інгредієнтів, якість, біологічна ефективність, економічні та екологічні параметри технологічних рішень.

Методи дослідження. У роботі використано системний підхід до аналізу процесів, що включає аналітичний метод - для оцінки теоретичних концепцій; порівняльний - для вибору ефективних технологій; експериментальний - для моделювання виробничої схеми; розрахунково-аналітичний - для обґрунтування енергетичних і економічних показників.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, п'яти підрозділів, висновків і списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ЗБАГАЧЕНОГО ПИТНОГО МОЛОКА

1.1. Загальна характеристика, класифікація та асортимент збагаченого питного молока

У структурі сучасного молочного виробництва питне молоко давно перестало бути лише джерелом поживних речовин тваринного походження. Зміщення споживчих орієнтирів, розвиток біотехнологій, глибше розуміння нутриціології та зростання інтересу до персоналізованого харчування сформували потужний запит на продукти із заданими функціональними властивостями. Серед них - збагачене питне молоко, яке водночас виконує роль базового раціону і спеціалізованого дієтичного носія [11, с. 5].

У його основі зберігається традиційна молекулярна матриця натурального молока, однак вона зазнає цілеспрямованих змін, орієнтованих на включення активних біологічних речовин - вітамінів, мінералів, пребіотиків, омега-жирних кислот, білково-пептидних фракцій та мікроелементів зі специфічною біодоступністю. Таке молоко вже не тільки джерело кальцію й білків - його розглядають як модифікований продукт із певним фізіологічним впливом. Технологічно це означає перехід від стандартного пастеризованого продукту до варіативної платформи, в межах якої можна задавати не лише смак, але й ефекти: імуномодулювальний, антиоксидантний, нейропротекторний, відновлювальний, антистресовий або енергетичний. Усе це вимагає не просто розширення асортименту, а й створення цілісної класифікаційної моделі, що враховує рівень збагачення, тип функціонального навантаження, біологічне походження добавок і цільову категорію споживачів. У процесі стандартизації головним вектором є визначення не лише хімічного складу, а і функціональної ефективності, стабільності під час зберігання та синергії між природними і введеними компонентами [18, с. 10].

Класифікація збагаченого молока спирається на принципи системного підходу з урахуванням мультикомпонентності рецептур, форми введення добавок (мікрокапсулювання, емульгування, сорбційна стабілізація), а також типів термічної та ферментативної обробки. Найпоширеніша диференціація здійснюється за функціональним спрямуванням: зміцнення імунітету (з додаванням цинку, селену, вітамінів D, C), профілактика остеопенічних станів (збагачення кальцієм, фосфором, вітаміном D3), підтримка когнітивної функції (добавки з омега-3 жирними кислотами, фосфатидилсеріном, вітамінами групи B), оптимізація травлення (введення пребіотиків - інуліну, галактоолігосахаридів), зниження глікемічного навантаження (додавання хрому, альфа-ліпоєвої кислоти). Існує окремий сегмент збагаченого молока для дітей, що містить комбінації вітамінів, нуклеотидів, таурину і ліпідів зі спеціальним профілем. Інша гілка класифікації базується на джерелі походження збагачувальних інгредієнтів: природні (виділені з харчової сировини), синтетичні (відновлені або синтезовані за фармацевтичними методами), біотехнологічні (отримані шляхом ферментації чи з використанням пробіотичних культур). У контексті стандартизації велику увагу приділяють формі представлення збагачувального комплексу - водорозчинна, жиророзчинна, емульгована, інкапсульована - оскільки це визначає їхню біодоступність, ступінь абсорбції в шлунково-кишковому тракті та взаємодію з молочною матрицею [20, с. 51].

Різноманітність асортименту збагаченого молока формується на перетині трьох векторів: технологічного, біохімічного та маркетингового. З одного боку, технологія повинна забезпечити рівномірний розподіл активних речовин, їхню стабільність протягом усього терміну зберігання, термостійкість і відсутність відчутного впливу на органолептичні показники. З іншого боку, біохімічна характеристика має відповідати нормам безпечного споживання, не створюючи перевантаження певними речовинами, і забезпечувати фізіологічну сумісність - наприклад, поєднання кальцію і вітаміну D, заліза і вітаміну C, магнію з вітаміном B6. При цьому інноваційна

формула рецептури розробляється з урахуванням синергетичного ефекту. Третій вектор - позиціонування на ринку - формує диференціацію між сегментами: дитяче збагачене молоко, функціональне спортивне молоко, дієтичне молоко для людей із порушенням ліпідного або вуглеводного обміну, молоко для старших вікових груп із підвищеним вмістом антиоксидантів. Саме така полікомпонентна архітектура забезпечує гнучкість формування асортименту й адаптацію до запитів ринку. Усе більше споживачів надають перевагу індивідуалізованим функціональним рішенням, і тому формування лінійок збагаченого молока йде шляхом персоналізованої нутригеноміки.

Технологічні варіації збагаченого молока передбачають широкий спектр структурно-функціональних характеристик, що обумовлені не лише складом, а й способом інтеграції активних компонентів. Найбільш ефективними є технології мікро- та нанокапсулювання, що дають змогу захистити чутливі біоактивні сполуки від окислення, термічного розкладу чи взаємодії з кислим середовищем. Такі підходи забезпечують контрольоване вивільнення речовин у шлунково-кишковому тракті, підвищують біодоступність і стабільність формули. У виробництві застосовують також методи емульгування з використанням харчових емульгаторів природного походження (лецитини, білково-полісахаридні комплекси), які забезпечують рівномірне розподілення жиророзчинних вітамінів і омега-3 кислот у гомогенній структурі молока. Деякі технології базуються на низькотемпературному пастеризуванні або УФ-обробці з метою збереження активності нестабільних сполук - зокрема вітаміну С, коферментів або пробіотичних культур. Окремо розглядається сегмент ферментованого збагаченого молока, у якому біоактивність посилюється за рахунок метаболітів молочнокислого бродіння - коротколанцюгових жирних кислот, вітамінів групи В, а також екзополісахаридів, які мають пробіотичний і імуностимулювальний ефект. Такий підхід є характерним для поєднання збагачення з біоконверсією - процесом, у межах якого функціональні властивості формуються внаслідок ферментативної дії на молочну основу [8, с. 82].

Формування асортименту в межах таких технологій спирається на принципи цільового призначення та адаптації до специфічних фізіологічних станів. Зростає сегмент молока, орієнтованого на осіб із підвищеною фізичною активністю, що містить додаткові джерела амінокислот, L-карнітин, магній і кофеїн. У паралельній ніші - збагачене молоко для людей похилого віку, де робиться акцент на включення кальцію в хелатній формі, ізофлавонів, коензиму Q10 та вітаміну K2. Споживачі із захворюваннями серцево-судинної системи надають перевагу молоку з фітостеролами, аргініном і зниженим вмістом насичених жирів. Дієтичні лінійки передбачають молоко з додаванням харчових волокон, хрому, цикорію, екстрактів рослин із гіпоглікемічною дією. Є також спеціалізовані продукти для дітей із лактозною недостатністю або підвищеною сенситивністю, де застосовуються технології лактазної обробки, часткового гідролізу білка й введення компонентів для стабілізації кишкової мікрофлори. Таке структурне багатоманіття не лише розширює функціональний діапазон збагаченого молока, а й створює передумови для переходу від масового харчування до персоналізованих моделей - з індивідуальним нутрієнтним профілем відповідно до віку, стану здоров'я, способу життя.

1.2. Дослідження та аналіз технологічних процесів виробництва молока, збагаченого вітамінами та мінералами

У виробництві збагаченого молока одним із фундаментальних завдань є забезпечення стабільної інтеграції біоактивних компонентів у структурну матрицю натурального молока без втрати їх функціональної активності під час повного циклу обробки. Вітаміни та мінерали, які додаються до складу, мають різну хімічну природу, ступінь розчинності, термостійкість і взаємодію з іншими складовими продукту. Це потребує строгої адаптації технологічних схем, що поєднують класичні етапи підготовки молочної сировини з інноваційними підходами до введення та стабілізації нутрієнтів. Після надходження сировини проводиться стандартна процедура первинної очистки

шляхом сепарації, що дозволяє видалити механічні домішки та стабілізувати загальний мікробіологічний фон. На цьому етапі температурний режим не перевищує $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, що зберігає молекулярну цілісність основної біологічної маси. Наступним етапом є нормалізація вмісту жиру - він може варіювати залежно від типу продукту (0,5–3,2 %), оскільки ліпідна фаза істотно впливає на здатність розчинення жиророзчинних вітамінів, таких як А, D, Е, К. Якщо ж формула збагачення містить переважно водорозчинні сполуки (вітаміни групи В, С, РР, біотин, мінеральні солі кальцію, цинку, селену), процес нормалізації спрямовано більше на досягнення стабільної щільності білково-мінерального середовища, яке здатне забезпечити адсорбцію та рівномірний розподіл цих речовин [12, с. 4].

У технологічній схемі обов'язковим є пастеризаційний етап, проте саме він створює найвищий ризик втрати біоактивності - зокрема для термолабільних вітамінів, таких як В1, В6, С, а також деяких форм фолієвої кислоти та пантотенату кальцію. Традиційно застосовують пастеризацію при температурі $85 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 10–15 с, або HTST-режими (High Temperature Short Time), які дозволяють досягти належного мікробіологічного ефекту при мінімальному ушкодженні активних сполук. Зважаючи на це, один із практичних підходів полягає у поділі введення добавок на дві фази: термостійкі компоненти вводяться до пастеризації (наприклад, карбонати кальцію, оксиди магнію, вітамін D3 в мікрокапсульованій формі), тоді як нестійкі сполуки вносяться після охолодження молока - при температурі не вище $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ - із використанням асептичного дозування. Для цього встановлюють окремі вузли введення, обладнані системами точної дозиметрії (диспенсери із електронним керуванням) та мішалками з горизонтальною турбулентністю, що забезпечують рівномірне перемішування без створення зсувних напружень, які можуть зруйнувати структуру вітамінних емульсій.

Особливої уваги потребує вибір форм сполук, які додаються до молока. Жиророзчинні вітаміни зазвичай вводяться у вигляді масляних концентратів або сухих порошкових емульсій, що мають полісахаридну або білково-

декстринову оболонку. Такі капсуляти забезпечують стійкість при термообробці, запобігають фотодеструкції та окисленню [5, с. 13].

Вітамін D3, до прикладу, застосовується у вигляді сухої емульсії з тригліцидами середньоланцюгового типу та декстриновою оболонкою, що демонструє стабільність до 90 °С протягом 30 хв без втрати біологічної активності. Вітамін А може бути інкорпорований у лецитинові мікрокапсули або додаватися у вигляді масляного концентрату з антиоксидантним захистом (додавання α -токоферолу як стабілізатора). Для водорозчинних сполук критично важливо уникати взаємодії з іонами металів, які можуть каталізувати розпад (аскорбінова кислота швидко деградує при наявності заліза або міді). Тому до складу формули можуть включатися хелатні агенти або стабілізатори, які формують комплекси з йонами металів, знижуючи їхню реакційну здатність.

На стадії гомогенізації, яка проводиться при тиску 12–18 МПа, виникає ще одна технологічна дилема. З одного боку, гомогенізація потрібна для стабілізації структури продукту та рівномірного розподілу компонентів. З іншого - при цьому можуть руйнуватися делікатні мікрокапсульовані структури або емульсії, що призводить до випадання фракцій і зниження ефективності збагачення. Для уникнення цього у виробничій схемі застосовується двофазна гомогенізація або обхідний режим - тобто частину потоку молока піддають гомогенізації, а збагачувальні добавки вносять у вже оброблену фракцію з подальшим м'яким змішуванням. Такий підхід дає змогу контролювати ступінь деструкції та зберігати біоактивність сполук. Окремим напрямом є використання ультразвукової гомогенізації з частотою 20–40 кГц, яка зменшує механічний вплив на структури, забезпечуючи водночас високий ступінь диспергування.

Завершальні етапи - фасування, пакування та зберігання - не менш критичні для стабільності збагаченого молока. Багато вітамінів чутливі до світла, кисню, зміни рН, тому пакування має відповідати вимогам до захисного бар'єру: поліетилентерефталатні пляшки з внутрішнім шаром

світлостабілізатора, картонні пакети типу TetraPak з алюмінієвою фольгою, іноді навіть скляні пляшки з ультрафіолетовим фільтром. Термін зберігання продукту залежить не лише від мікробіологічної стабільності, а й від стабільності добавок. Так, вітамін С у вільній формі може деградувати на 30–40 % вже протягом першого тижня, тоді як капсульований аналог зберігає понад 90 % активності до 30 діб. Вітамін D3 залишається стабільним до 60 діб за умови контролю температури (0–4 °С) і відсутності контакту з киснем. На практиці застосовується HPLC-контроль (високоєфективна рідинна хроматографія) для підтвердження залишкового вмісту біоактивних компонентів на кожному етапі виробництва й зберігання [9, с. 48].

Інтеграція мінеральних речовин має власну специфіку, яка визначається не лише їх хімічною формою, а й іонною активністю в молочному середовищі. Додавання кальцію в неорганічній формі (карбонат, фосфат) призводить до утворення осаду або зміни в'язкості молока. Більш ефективними є органічні форми - глюконати, лактати, цитрати, які мають кращу розчинність і менше впливають на колоїдну структуру продукту. У разі введення заліза необхідна присутність стабілізаторів або інкапсуляторів, оскільки залізо вільної форми викликає окислення ліпідів і зміну смаку. Використання білково-зв'язаних форм (залізо в складі феритину або як частина білкових мікроагрегатів) забезпечує стабільність, відсутність металевого присмаку й підвищену біодоступність. Для йоду перевагу надають калій-йодату або йодиду у формі нанокрапель, які демонструють стабільність у широкому рН-діапазоні й не змінюють органолептики.

1.3. Економічні та екологічні аспекти інноваційних технологій у виробництві збагаченого питного молока

У виробничих системах харчової промисловості, особливо в молочному сегменті, запровадження інноваційних технологій збагачення питного молока має не лише харчову чи функціональну цінність, а й чітко окреслений економічний сенс. Питання капіталовкладень, витрат на модернізацію,

періоду амортизації та продуктивного навантаження на виробничі потужності набуває особливої ваги в умовах високої конкуренції, зростання вартості сировини та потреби в енергоефективності. З економічної точки зору, кожна одиниця нового технологічного ланцюга - дозаторів, міксераторів, систем капсуляції або асептичного фасування - повинна бути обґрунтована не лише ефективністю впровадженого функціоналу, а й окупністю в межах півтора-дворічного циклу [4, с. 4].

В структурі витрат на модернізоване виробництво частка додаткового устаткування становить орієнтовно 18–22 % від загального бюджету перетворення класичного заводу в об'єкт, здатний виробляти збагачене молоко з високою стабільністю компонентів. У середньому, для невеликого підприємства потужністю до 25 т/добу витрати на закупівлю сучасного капсульного обладнання, системи точного дозування та інфрачервоних пастеризаторів коливаються в межах 145–190 тис. євро, залежно від бренду та енергоспоживання. Водночас, за результатами економічного моделювання, додана вартість одиниці збагаченого молока в порівнянні зі стандартним зростає на 28–40 %, що дозволяє при стабільному рівні збуту досягти повної компенсації інвестицій за 16–20 місяців.

Продуктивність при цьому зростає не лише за рахунок вищої маржі, але й через зниження втрат у процесі переробки, підвищення точності дозування та мінімізацію браку. Наприклад, використання систем мікродозування з електронним керуванням дозволяє знизити розкид дозування біоактивних речовин до $\pm 0,5$ %, що зменшує перевитрати дорогих добавок, зокрема мікроелементів у хелатній формі чи вітамінів, що капсулюються. Традиційна механічна подача має похибку до ± 2 %, що при масштабах виробництва в 10 тис. л/день дає до 15 % втрат добавок у грошовому еквіваленті. Вартість однієї тонни збагаченого молока із застосуванням нових технологій становить орієнтовно 580–640 євро, що включає як витрати на сировину, електроенергію, зарплатний фонд, так і амортизаційні витрати. Для порівняння, вартість звичайного пастеризованого молока складає в середньому 410–460 євро/т,

однак кінцева націнка в мережевому сегменті на збагачену продукцію дозволяє утримувати рентабельність на рівні 18–23 %, тоді як у базовому сегменті вона рідко перевищує 6–8 %. Це обумовлено як вищою платоспроможністю цільової аудиторії, так і маркетинговою цінністю таких продуктів, що позиціонуються як функціональні або дієтичні [6, с. 14].

Економічна ефективність модернізації технологічного ланцюга безпосередньо залежить і від масштабу виробництва. При добовій потужності понад 50 т інвестиції окуповуються на третину швидше, ніж у міні-заводах, з огляду на ефект масштабу та нижчу частку фіксованих витрат на одиницю продукції. За даними практичних калькуляцій, витрати на впровадження системи мікрокапсуляції на основі ліпосомальних носіїв у великому підприємстві компенсуються за 12–14 місяців, тоді як у мініцеку - за 20–24. Такий економічний профіль підтримується додатковими факторами - можливістю диверсифікації продукції (зокрема запуск лінійки для дітей, спортсменів, людей похилого віку), участю в державних програмах з підтримки здорового харчування та експортному потенціалі, особливо в регіони з високим попитом на функціональне харчування. Окремим елементом вартісної стратегії є скорочення витрат на зберігання завдяки впровадженню технологій подовження терміну придатності - зокрема високотемпературної обробки (УНТ), обробки високим тиском (НРР) або включення природних антиоксидантів і консервантів у капсульованій формі.

Ще одним критерієм є енергетичне навантаження виробничого процесу. Впровадження сучасного обладнання супроводжується зменшенням споживання електроенергії на одиницю продукції на 12–18 %, зокрема за рахунок рекуперації тепла в пастеризаційних установках, використання інверторних компресорів та енергоефективного освітлення в зоні фасування. Енергоспоживання виробництва однієї тонни збагаченого молока на традиційній лінії становить 210–230 кВт·год, тоді як на модернізованій - 175–190 кВт·год. Це особливо критично в умовах підвищення тарифів, нестабільності енергопостачання та потреби у формуванні «зеленого» сліду

підприємства. Водночас модернізація дає змогу зменшити кількість стічних вод завдяки герметизації дозувальних систем і зменшенню промивних об'ємів, що прямо впливає на зниження навантаження на локальні очисні споруди. У середньому при переході на автоматизовані змішувачі та СІР-мийки спостерігається зниження витрати води на 15–20 %, що не лише скорочує екологічне навантаження, а й знижує витрати на водопостачання й очищення.

Екологічний вектор у виробництві збагаченого молока посідає дедалі помітніше місце - не лише як вимога державних регуляторів, а й як частина маркетингової репутації підприємства. Один із ключових напрямів - заміна традиційного ПЕТ-пакування на багатошарові біорозкладні аналоги або упаковки з перероблених матеріалів. Сучасні пакети типу Tetra Rex® із рослинного поліетилену або біокартону знижують вуглецевий слід на 23–27 % у порівнянні зі стандартною пляшкою з поліетилентерефталату. Хоча собівартість такого пакування на 8–12 % вища, його використання дозволяє включати підприємство до програм відповідального виробництва та отримувати сертифікати екологічної відповідності (як-от ISO 14001), що відкриває доступ до експортних ринків ЄС і Північної Америки. У сегменті збагаченого молока пакування часто відіграє роль не лише контейнера, а й захисного середовища, тому використання багато-шарових пакувальних рішень, здатних захистити від УФ-променів, кисню, вологи й механічного впливу, є не лише екологічним, а й технологічно доцільним. Це зменшує втрати продукції в роздрібному ланцюгу, де при порушенні температурного режиму традиційне молоко часто втрачає якість до завершення терміну реалізації [22, с. 23].

Зменшення утворення відходів у процесі виробництва також є частиною екологічної стратегії. У традиційній схемі до 3 % маси сировини може бути втрачено у вигляді залишків у трубопроводах, неефективного змиву або браку продукції. У нових лініях ці втрати знижуються до 1,2–1,5 % завдяки використанню автоматичних клапанів зворотного зливу, безперервного моніторингу тиску в системі та оптимізації алгоритмів промивки. Це не лише

зменшує об'єм рідких відходів, а й підвищує загальний коефіцієнт корисного використання сировини (ККІС), який може сягати 98,5 %. В економічному еквіваленті це дозволяє зменшити непрямі втрати до 12–18 тис. євро на рік для середнього підприємства. Окремий інтерес становить переробка вторинних потоків - зокрема, повернення сироватки, що залишається після часткової ультрафільтрації молока для створення збагачених білкових формул. Вона може бути використана як джерело лактози, мінералів або навіть пробіотичних середовищ, що дозволяє створювати побічні продукти з високою доданою вартістю [10, с. 11].

Сучасні технології збагачення молока орієнтовані на циркулярну модель виробництва, де кожен побічний продукт або залишок потенційно є сировиною для нового циклу. У цьому контексті застосування модулів мембранної фільтрації, зворотного осмосу або біоферментативної обробки дозволяє отримувати концентровані білкові й мінеральні фракції, які згодом використовуються у виготовленні інших функціональних продуктів - спортивного харчування, дитячих сумішей, ентеральних формул для клінічного живлення. Такий підхід підвищує ресурсну ефективність і дає змогу скоротити утилізаційні витрати, що в традиційній схемі можуть сягати 4–6 % від загального бюджету виробництва.

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЗБАГАЧЕНОГО ПИТНОГО МОЛОКА

2.1. Розробка декомпозицій і принципової технологічної схеми виробництва збагаченого питного молока

У практиці промислової молочної інженерії моделювання технологічного процесу виробництва збагаченого питного молока потребує детального опрацювання логіки декомпозиції усіх стадій обробки сировини та функціональних переходів у межах цілісної системи. При цьому важливо не просто відтворити лінійний ланцюг технологічних дій, а формалізувати структурно-функціональну модель, у якій кожен вузол є не ізольованим технологічним блоком, а частиною динамічного циклу перетворень із прямими та зворотними зв'язками, регульованими параметрами і контрольними точками. Метою побудови такої схеми є створення алгоритмічно керованої системи, здатної до самодіагностики і корекції відхилень у межах заданих режимів. Це передбачає декомпозицію процесу на логічні функціональні етапи: підготовка молочної сировини, базова термомеханічна обробка, стабілізація структурних параметрів, введення збагачувального комплексу, інтеграція та гомогенізація системи, остаточна термічна стабілізація, фасування та зберігання. Кожен з цих етапів формується на основі окремих фізико-хімічних механізмів - коагуляції, денатурації, дифузії, сорбції, емульгування, мікрокапсулювання, що відбуваються під впливом тепла, тиску, зсувних напружень або електромагнітних полів [24, с. 23].

Перший етап - підготовка сировини - виконує функцію вирівнювання сировинного потенціалу. Після приймання молока, контроль його кислотності, щільності, температури, бактеріального числа, сировина направляється у фільтраційний блок, де видаляються механічні домішки розміром понад 50 мкм. Паралельно відбувається охолодження до +4 °С у пластинчастому теплообміннику, що необхідно для гальмування росту мікрофлори.



Рис. 2.1 Горизонтальна декомпозиція технологічної системи виробництва збагаченого питного молока

Наступна технологічна ланка - нормалізація жиру. Вона здійснюється через автоматизовану нормалізаційну установку, що функціонує за принципом об'ємного мікродозування з використанням зворотного зв'язку з дебітометрів. У контурі обробки формується молочна суміш із точно заданим вмістом жиру - в діапазоні $2,5 \pm 0,05$ %, що є критичним для стійкості збагачувального комплексу, зокрема жиророзчинних вітамінів. У цьому вузлі важливим елементом є динамічний баланс між вхідною та вихідною концентрацією ліпідів, який забезпечується сенсорною системою щільності та в'язкості [3, с. 6].

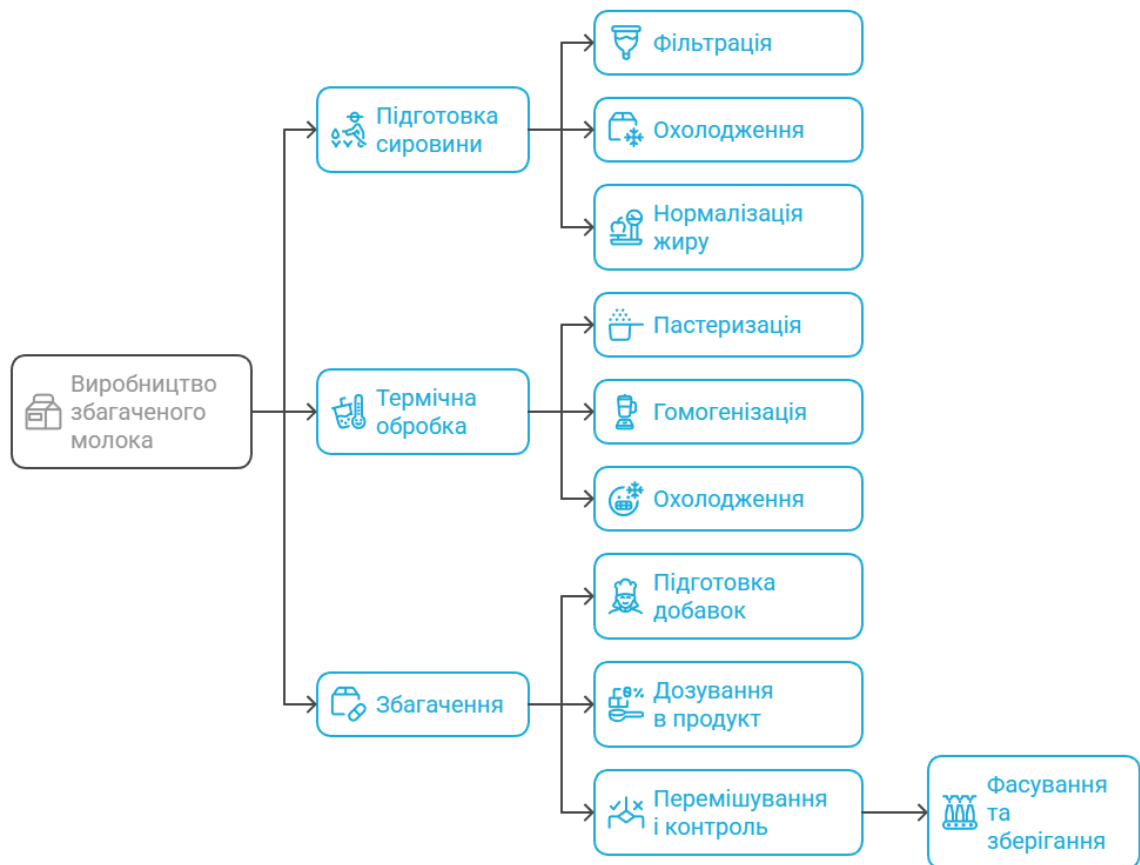


Рис. 2.2 Ієрархічна декомпозиція технологічної системи виробництва збагаченого молока

Технологічний вузол гомогенізації, що слідує далі, функціонує за принципом гідродинамічного руйнування жирових глобул під тиском 12–16 МПа із забезпеченням розміру частинок не більше 1 мкм. Цей параметр є

ключовим, оскільки надмірне зменшення розміру веде до окисного стресу в структурі молока та зниження стабільності деяких вітамінів. Тому контроль тиску та тривалості обробки - основа технологічного модулювання. Для цього застосовуються диференціальні сенсори, що синхронізують тиск на вході та виході з гомогенізатора, а також термостійкий фотометр для відстеження непрозорості емульсії. Далі молоко проходить пастеризацію - термічну обробку при 85 °С протягом 15 секунд із миттєвим охолодженням до 35 °С. У цьому діапазоні зберігається активність інкапсульованого вітаміну D3, аскорбінової кислоти в комплексі з антиоксидантами, фолієвої кислоти у формі моногідрату. Контроль температури забезпечується PID-регуляторами із точністю $\pm 0,05$ °С та фотоелектричними сенсорами часу перебування рідини у трубчастому модулі. Цей блок включає також СІР-контур (Clean-in-Place) для самоочистки після кожного 8-годинного циклу, що виключає перехресну контамінацію добавок [15, с. 17].

Ключовим етапом є приготування та дозування збагачувального комплексу. Він складається з двох паралельних підсистем: гідрофільної (водорозчинні компоненти: інулін, вітаміни групи В, магній, цинк) та ліпофільної (вітаміни А, D3, Е, омега-3). Підготовка відбувається в реакторах змішування об'ємом 200–500 л, оснащених турбінними мішалками та системою вакуумного всмоктування порошків. У межах цього блоку відбувається мікрокапсулювання з використанням коацерваційного методу або методом сушіння з розпиленням. Введення добавок у молочну матрицю здійснюється через мембранні насоси з кроковим керуванням та зворотним зв'язком за показником провідності. Далі збагачений продукт подається у змішувач із реверсивною турбулентністю, де протягом 7 хв відбувається рівномірне перемішування з контролем рН (6,5–6,7) і температури (35 °С). У системі також інтегрований контроль щільності та індексу рефракції, які корелюють із концентрацією розчинених компонентів [13, с. 3].

Остаточне стабілізування збагаченого молока включає фільтрацію через пористу мембрану (1–2 мкм), а також стабілізацію терміну зберігання шляхом

миттєвого охолодження до 4 °C і подачі в асептичну зону фасування. Цей вузол реалізований через асептичні бар'єрні модулі з ламінарним потоком, з витримкою продукту не більше 3 хвилин до моменту герметизації. Фасування виконується в багат шарову упаковку (Tetra Brik Aseptic), що забезпечує повний захист від світла, кисню, вологи й механічного впливу. Контроль якості в цій точці охоплює спектрофотометричний аналіз вмісту активних речовин, мікробіологічне тестування методом швидкої флуоресценції та аналіз органолептичних параметрів з використанням електронного дегустатора (e-nose, e-tongue). Уся система завершується вузлом маркування із друком QR-коду, що містить інформацію про партію, дату виробництва, вміст нутрієнтів, індекс біодоступності та рекомендації щодо споживання.

2.2. Аналіз рецептурного складу та технологічної схеми з урахуванням вимог до якості готового збагаченого продукту

Комплексний аналіз рецептурного складу та технологічної схеми виробництва збагаченого питного молока є ключовим етапом у проєктуванні стабільного харчового продукту з чітко прогнозованими органолептичними, фізико-хімічними та нутрієнтними характеристиками. У межах технологічного циклу будь-яке відхилення в кількісному або якісному складі рецептурних компонентів прямо впливає на поведінку системи під час обробки, стабільність під час зберігання й остаточну якість готової продукції. Особливо чутливими є молочні матриці з додаванням біоактивних речовин - вітамінів, мікроелементів, пребіотиків або функціональних фракцій білка - які вимагають точного дотримання дозування і технології введення. Кожен компонент у рецептурі має своє функціонально-технологічне навантаження: нормалізоване молоко формує білково-жирову структуру, яка є носієм і матрицею для розподілу активних речовин; вітамінні компоненти забезпечують фізіологічну дію, але є водночас найменш стабільними за температурних коливань; мінеральні солі впливають на буферну ємність і кислотність продукту; стабілізатори та волокна виконують роль

структуруювачів, забезпечуючи реологічну стабільність. Зміщення співвідношення між цими компонентами навіть на кілька відсотків призводить до зміни в'язкості, зміщення рН, погіршення однорідності або випадіння фази під час зберігання. Так, збільшення кількості інуліну понад 1,5 % у відношенні до загального об'єму спричиняє утворення гелевої фази з проявом пінистості при гомогенізації, тоді як концентрація в межах 0,8–1,2 % дає оптимальне балансування смаку, текстури та пробіотичної дії без побічних ефектів. Водночас надлишок кальцію у вигляді цитрату чи лактату понад 0,1 % може спричинити зниження термостійкості білків, що призводить до флокуляції під час пастеризації [2, с. 15].

Таблиця 2.1

Аналіз рецептурного складу продукту

Найменування рецептурних компонентів	Роль компонента у формуванні структури	Вимоги до якості рецептурних компонентів (сировини)
Нормалізоване молоко (2,5%)	Основа; джерело білків, кальцію	ГОСТ 3662: мікробіологічна безпечність, кислотність 16–18 °Т, вміст білка не менше 2,8%
Вітамін D3 (капсульована форма)	Регуляція кальцієвого обміну	Вміст ≥ 400 МО/г, стабільність при 85 °С, без домішок окислювачів
Вітамін B12	Участь у метаболізмі еритроцитів	Вміст $\geq 0,1$ мг/кг, чистота 99,9%, розчинність у воді
Кальцію цитрат	Мінеральне збагачення	Ступінь чистоти $\geq 99\%$, не зсідается при рН 6,6
Інулін	Пребіотик, текстура	Вологість $\leq 5\%$, ступінь полімеризації ≥ 10
Ароматизатор «Молочний»	Покращення органолептики	Термічна стабільність, сертифікат ISO 22000

З погляду харчової й біологічної цінності ключовими показниками рецептурного складу є загальний вміст білків, ступінь денатурації лактоглобулінів, концентрація активних форм вітамінів, а також співвідношення макро- і мікроелементів. Оптимальний рівень білка для збагаченого молока становить 2,8–3,2 %, що відповідає як традиційній нормі, так і вимогам до засвоюваності. Для забезпечення ефективної дії вітаміну D3

його концентрація має становити 1,5–2,0 мкг/100 мл, що відповідає фізіологічним нормам споживання при збереженні безпеки. Важливим є також підтримання співвідношення кальцію до фосфору на рівні 1,2:1, що забезпечує їх синергічну біодоступність. Введення вітаміну В12 на рівні 0,5 мкг/100 мл дозволяє покрити денну потребу організму при мінімальному дозуванні, але вимагає ретельного контролю з огляду на його світлочутливість. Комбінація компонентів повинна враховувати їхню взаємодію: наявність заліза у вільній формі знижує стабільність вітаміну С, натомість хелатні форми (залізо-лізинат, залізо-глюконат) демонструють кращу стійкість і відсутність смакових дефектів. Стабілізуючі агенти - гуарова камедь, камедь рожкового дерева - додаються в концентрації до 0,3 %, що дозволяє зберігати гомогенну текстуру протягом усього терміну реалізації. Їх перевищення призводить до утворення надмірної в'язкості та осаду в нижній частині упаковки, що негативно впливає на сприйняття продукту споживачем [14, с. 78].

Таблиця 2.2

Аналіз технологічної схеми виробництва продукції

Найменування етапу	Найменування операції	Режими, параметри	Фізико-хімічні зміни
Попередня підготовка	Охолодження, очистка	t=4 °С, фільтрація через 100 мкм	Зниження бактеріального фону
Нормалізація	Корекція вмісту жиру	жир=2,5%	Формування однорідної базової структури
Пастеризація	Нагрів, витримка, охолодження	t=85 °С, 15 с, охолодження до 35 °С	Знищення патогенів, денатурація білків
Збагачення	Дозування добавок	t=35 °С, рН=6,6, обертання 50 об/хв	Інтеграція мікронутрієнтів
Гомогенізація	Високотискове змішування	12–16 МПа	Зменшення жирових кульок, стабілізація
Фасування	Асептичне пакування	TetraPak, бар'єр до УФ	Захист від окислення

Оцінка рецептурного складу проводиться не лише за складом, а й за фізико-хімічною стабільністю на всіх етапах життєвого циклу продукту. Це

включає дослідження розподілу фази, оптичної щільності, стійкості до температурного навантаження, зміни рН, іонної сили та окисного потенціалу. У кожному з контрольних вузлів технологічної схеми відбуваються критичні зміни, які можуть зумовити порушення стабільності.

Таблиця 2.3

Методи контролю якості готової продукції

Показник	Метод контролю	Нормативне значення
Колір	Органолептичний	Однорідний, молочний
Смак і запах	Органолептичний	Чистий, без сторонніх присмаків
Масова частка жиру	Гравіметричний	$2,5 \pm 0,1$ %
Масова частка сухих речовин	Ізоахрофоретичний	8,4–8,9 %
Вміст вітаміну D3	Високоєфективна рідинна хроматографія	$\geq 1,5$ мкг/100 г
Мікробне число	Підрахунок колоній на МПА	$\leq 5 \times 10^3$ КУО/мл
Кількість дріжджів і плісняв	Середовище Сабуро	≤ 50 КУО/мл
рН	Потенціометрія	6,5–6,7

Тому визначення точок критичного контролю (ССР) є обов'язковим для забезпечення якості. Серед таких точок - пастеризаційний модуль, де в разі перевищення температури вище 87 °С за наявності вітаміну С відбувається його деградація до 40 % за перші 20 секунд. Інша критична точка - вузол гомогенізації, де за тиску вище 18 МПа спостерігається руйнування емульсійної структури вітамінів D3 і E, що знижує їх біодоступність і призводить до фракціонування при охолодженні. Ще одна точка - зона дозування мікроелементів. При дозуванні заліза в умовах рН нижче 6,4 відбувається утворення сульфідних комплексів, що призводять до металевого присмаку та осаду. Для цього контроль рН і хімічної активності середовища є обов'язковим за допомогою безперервного моніторингу за допомогою потенціометричних зондів з індикацією в реальному часі [21, с. 42].

ВИСНОВКИ

У процесі дослідження встановлено, що збагачене питне молоко є багатоцільовим функціональним продуктом, структура якого формується на перетині нутрієнтного складу, технологічної обробки та споживчої орієнтації. Різновиди збагачуваних формул класифікуються за типом біоактивних компонентів, їх фізико-хімічною природою, формою введення (емульсії, суспензії, порошки, мікрокапсули), а також цільовим функціональним призначенням - від профілактичних до дієтично-регуляторних. Асортимент формується за принципами адаптивності, коли рецептурна база підлаштовується до вікових, метаболічних або фізіологічних особливостей споживача. Технологічна стандартизація вимагає врахування біодоступності нутрієнтів, їхньої стійкості під час термообробки, а також сумісності з молочною матрицею. Кожна група добавок - вітаміни, мінерали, волокна, пребіотики - має власну критичну межу ефективності, за якою зростає ризик небажаних ефектів: флокуляції, осаду, реакцій Maillard, втрати смаку. Вибір форми компонентів залежить від їх здатності витримувати гомогенізацію, пастеризацію, зміни рН та дію поверхнево-активних білків, що зумовлює обов'язкову присутність стабілізаторів і точне дозування.

Під час аналізу технологічної обробки визначено, що найбільш чутливими до руйнування компонентами є вітаміни групи В, С, фолієва кислота, а також залізо та кальцій у неінкапсульованій формі. Технологічна логіка передбачає поетапне розділення обробки: термостійкі компоненти вводяться до пастеризації, тоді як чутливі - після, при температурі не вище +35 °С. Система дозування повинна базуватись на електронному регулюванні з контролем масової витрати та зворотного зв'язку з реологічними характеристиками продукту. Впровадження мікрокапсуляції, емульгування, коацервації й асептичного фасування є технічно необхідним для досягнення стабільності, а використання автоматизованих СІР-мийок та фільтраційних мембран дозволяє знизити мікробіологічні ризики. Результати також

показують, що оптимізація введення інуліну, вітаміну D3, кальцію, магнію й омега-3 кислот забезпечує збереження фізико-хімічної стабільності протягом 21–30 діб за умови підтримання $t = 0-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ і бар'єрного пакування.

Оцінка економічних характеристик виявила, що модернізація лінії виробництва збагаченого молока потребує інвестицій в межах 150–190 тис. євро для середнього підприємства, з терміном окупності 14–20 місяців. Показник енергоефективності покращується в середньому на 15 %, а втрати добавок зменшуються до 0,5–0,8 % завдяки точному дозуванню. Екологічна оцінка показала, що застосування асептичного фасування в пакети з біорозкладною основою знижує вуглецевий слід до 27 % на одиницю продукції, а автоматизація СІР-зон скорочує споживання води на 18 %. Це формує сталу виробничу модель із високим ресурсним ККІС >98 %. Побудова принципової схеми через горизонтальну й ієрархічну декомпозиції дозволила виділити вузли, де відбуваються критичні перетворення - зокрема гомогенізація, пастеризація й дозування - та забезпечити кожен блок контрольними точками з температурним, мікробіологічним і хімічним моніторингом. Проведений аналіз підтверджує, що стабільність і якість збагаченого молока прямо залежать від точності рецептури, режимів обробки та послідовного контролю, інтегрованого в усі стадії виробничого циклу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берник І. М., Новгородська Н. В., Соломон А. М., Овсієнко С. М., Бондар М. М. Інноваційні технології харчових виробництв. Вінниця. 2022. 300 с.
2. Доценко В. Ф., Кочерга В. І. Технологія продукції ресторанного господарства. Київ. 2019. 292 с.
3. ДСТУ 3008. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. URL: https://edu.htek.org.ua/pluginfile.php/76905/mod_resource/content/1/derzhstandart_3008_2015.pdf (дата звернення: 28.04.2025).
4. ДСТУ 8302. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. URL: https://edu.htek.org.ua/pluginfile.php/76904/mod_resource/content/1/dstu_8302_2015.pdf (дата звернення: 28.04.2025).
5. Євлаш В. В., Головка М. П., Прісс О. П. Гігієна та санітарія закладів ресторанного господарства. Харків. 2019. 246 с.
6. Зубар Н. М. Теоретичні основи харчових виробництв. Київ. 2020. 304 с.
7. Ковалев А. А. Перспективы струйно-щелевого гомогенизатора молока. Інноваційні технології в агропромисловому комплексі. Мелітополь. ТДАТУ. 2020. С. 66–69.
8. Ковалев А. А., Лебідь М. Р. Использование струйного диспергатора для получения мелкодисперсных эмульсий. Інноваційні технології в агропромисловому комплексі. Мелітополь. ТДАТУ. 2020. С. 82–87.
9. Крижова Ю. П., Шевченко І. І., Морозова М. А., Коваленко С. В. Розробка нових продуктів для профілактики дефіциту кальцію. Науковий вісник ЛНУВМБ ім. С. З. Гжицького. 2017. Т. 19. № 80. С. 48–51.

10. Павлоцька Л. Ф., Дуденко Н. В., Дмитрієвич Л. Р. Основи фізіології і гігієни харчування. Київ. 2019. 441 с.
11. Положення про академічну доброчесність у ХТЕФК. URL: <https://htek.com.ua/wp-content/uploads/2023/09/1АкДобр.pdf> (дата звернення: 28.04.2025).
12. Положення про курсову роботу у ВСП ХТЕФК ДТЕУ. URL: https://htek.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/Курсові_роботи_ХТЕФК_ДТЕУ.pdf (дата звернення: 28.04.2025).
13. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Борохов І. В., Паляничка Н. О. Аналітичні дослідження енергетичних показників і параметрів якості струминно-щільового гомогенізатора молока. Праці ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 1. С. 3–18.
14. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Колодій О. С., Сєрий І. О. Оптимізація експериментальних параметрів та визначення експериментального значення критерію Вебера струминно-щільного гомогенізатора молока. Праці ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 3. С. 78–85.
15. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., Колодій О. С., Лебідь М. Р. Експериментальні дослідження параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу. Праці ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 2. С. 117–129.
16. Самойчук К. О., Сєрий І. С., Ковальов О. О. Розробка промислового зразку та оцінка економічної ефективності впровадження струминно-щільного гомогенізатора молока. Праці ТДАТУ. Мелітополь. 2020. Вип. 20. Т. 1. С. 15–25.
17. Сирохман І. В. Якість і безпечність харчової продукції. Львів. 2020. 504 с.
18. Теличкун В. І., Гавва О. М., Теличкун Ю. С., Губеня О. О. Технологічні комплекси харчових виробництв. Київ. 2017. 456 с.

19. Antoshchenkova V., Kravchenko Ya. Suchasni tendentsii vyrobnytstva ta spozhyvannia moloka v sviti v umovakh hlobalizatsii. Ekonomichnyi analiz. 2022. 32(2). С. 7–14. URL: <https://doi.org/10.35774/econa2022.02.007> (дата звернення: 28.04.2025).
20. Bayer O. V. Evaluation of ultra-high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry for determination of avermectin residues in milk. Ukrainian Journal of Ecology. 2019. 9. С. 521–526. URL: https://doi.org/10.15421/2019_784 (дата звернення: 28.04.2025).
21. Bolgova N., Huba S., Sklyarenko Y., Tsyhura V., Marchenko M. Dependence of the production process of rennet semi-solid cheeses on quality indicators of raw milk. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series Food Technologies. 2019. 21(92). С. 42–46. URL: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9208> (дата звернення: 28.04.2025).
22. Kiurchev S., Samoichuk K., Kovalyov O., Leshchij R. Method of calculation of an industrial model of jet-slot milk homogenizer. ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry. 2020. Vol. 19. No. 4. С. 23–30.
23. Kovalev A. Determination of the coefficient of the injector-slot milk homogeneity of milk with separate giving of cream. Інноваційні технології в агропромисловому комплексі. Мелітополь. ТДАТУ. 2020. С. 63–65.
24. Цивірко І. Л., Бусол Л. В., Жиліна В. М., Дегтярьов М. О., Париловський О. І., Богатирьова А. М. Моніторинг якісних показників коров'ячого питного молока. Ветеринарія. технології тваринництва та природокористування. Харків. ДБТУ. 2024. №9. С. 253–259.