

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність 181 «Харчові технології»

Допускається до захисту

завідувач кафедри харчових
технологій і технологій переробки
продукції тваринництва

доцент Л.П. Загоруй

« 1 » грудня 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

АНАЛІЗ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Виконав(ла)

прізвище, ім'я, по батькові, підпис

Черненко

Керівник

вчене звання, прізвище, ініціали підпис

доц. Калініна Т.І.

Рецензент

вчене звання, прізвище, ініціали підпис

доцент Мартюгів В.М. В.

Я, Черненко Марія Олександрівна, засвідчую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності

Біла Церква
2025

ЗМІСТ

Зміст	2
Завдання на кваліфікаційну роботу	3
Анотація	4
Annotation	5
Відгук керівника	6
Рецензія	7
Вступ	8
Розділ 1. Огляд літератури	9
Розділ 2. Методологія кваліфікаційної роботи	20
Розділ 3. Розроблення удосконаленої технології	24
3.1 Вимоги до сировини та матеріалів	24
3.2. Продуктовий розрахунок	26
3.3. Апаратурно-технологічне забезпечення, опис технології	30
Розділ 4 Контроль безпечності та якості продукту, екологізація виробництва	33
Розділ 5 Економічна частина	37
Висновки та пропозиції	42
Список використаної літератури	44

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____

Спеціальність _____

Затверджую

Гарант ОП «Харчові технології»

Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали

_____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу

Черненко Марії Олександрівні

тема **АНАЛІЗ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІББУЛОЧНИХ ВИРОБІВ**

Затверджено наказом ректора № ____ від _____

Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи в деканат: до «__» _____ 20__ р.

Перелік питань, що розробляються в роботі. Провести комплексний аналіз існуючої технології хлібобулочних виробів, ідентифікувати критичні точки виробничого циклу, та на цій основі обґрунтувати й розробити заходи з її удосконалення з урахуванням вимоги до якості сировини та матеріалів. Виконати продуктовий розрахунок. Обґрунтувати та підібрати апаратурно-технологічне забезпечення для модернізації технології. Детально описати технологію виробництва батонів, збагачених залізом із впровадженням запропонованих удосконалень. Розробити заходи контролю безпечності та якості продукції. Визначити шляхи екологізації виробництва. Виконати економічне обґрунтування доцільності впровадження запропонованих рішень.

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	Жовтень-лютий 2024-25	
Методологія роботи	Березень 2025	
Технологічна частина	Квітень-Липень 2025	
Оформлення роботи	Вересень 2025	
Перевірка на плагіат	Жовтень 2025	
Подання на рецензування	Жовтень 2025	
Попередній розгляд на кафедрі	Листопад 2025	

Керівник кваліфікаційної роботи

підпис

вчене звання, прізвище, ініціали

Здобувач

підпис

прізвище, ініціали

Дата отримання завдання «__» _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

Черненко М. О. Аналіз та удосконалення технології хлібобулочних виробів

Метою магістерської роботи є дослідження ринку ХБВ та наповнювачів, які надають продуктам функціональних характеристик і мають вплив на формування якості продукту та технологічний процес виробництва хліба. Опрацювали літературні дані і визначалися з вибором наповнювача – залізовмісні компоненти, які впливають на клейковину пшеничного борошна, відповідно на структурно-механічні властивості тіста, біохімічні перетворення в тісті під час бродіння, активність дріжджів і молочнокислих бактерій.

Обґрунтовано вибір носіїв заліза з точки зору їх безпеки та засвоюваності та оптимальне дозування продуктів заліза, виходячи з фізіологічної потреби людини.

Проведено аналіз існуючої технології і удосконаленої, проведено необхідні технологічні розрахунки, в тому числі продуктивний. Проведено аналіз існуючого обладнання, переоснащення не потребує. Економічний розрахунок підтверджує рентабельність удосконалення за рахунок того, що новий продукт за дещо вищої ціни буде мати підвищений попит.

Список літератури нараховує джерел 45. Робота оформлена на 47 сторінках, містить 22 таблиці, 2 рисунка

Ключові слова: хлібобулочні вироби, добавки, органічні та неорганічні носії заліза.

ANNOTATION

Chernenko M. O. Analysis and Improvement of Baked Goods Technology

The aim of the master's thesis is to investigate the market of baked goods and fillings additives that provide products with functional characteristics and influence the formation of product quality and the technological process of bread production. Literary data were processed, and a choice was made regarding the additive-iron-containing components-which affect the gluten of wheat flour, and consequently, the structural and mechanical properties of the dough, biochemical transformations in the dough during fermentation, and the activity of yeasts and lactic acid bacteria.

The choice of iron carriers was justified from the perspective of their safety and bioavailability, and the optimal dosage of iron products was determined based on the human physiological need.

An analysis of the existing and the improved technology was conducted, and the necessary technological calculations were performed, including product calculations. An analysis of the existing equipment was carried out, and it was concluded that re-equipment is not required. The economic calculation confirms the profitability of the improvement due to the fact that the new product, despite a slightly higher price, will have increased demand.

The list of references comprises 45 sources. the thesis (or work) is presented on 47 pages and contains 22 tables and 2 figures.

Keywords: baked goods, additives, organic and inorganic iron carriers.

ВІДГУК КЕРІВНИКА

на кваліфікаційну роботу здобувача _____ року навчання спеціальності

прізвище, ім'я, по батькові

на тему _____

Оцінка окремих складових кваліфікаційної роботи:

1. **Оформлення роботи** (не більше 10 балів) _____

2. **Своєчасність подання окремих елементів роботи керівнику**

(кожний своєчасно поданий елемент дає по 5 балів) _____

3. **Теоретичні та аналітичні аспекти роботи** (не більше 25 балів) _____

4. **Практичні аспекти роботи** (не більше 20 балів) _____

5. **Оцінка попереднього захисту** (не більше 25 балів) _____

Додаткові думки та загальний висновок керівника _____

Загальна оцінка (не більше 100 балів) _____

Керівник кваліфікаційної роботи

підпис

вчене звання, прізвище, ініціали

_____ 20__ р.

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу здобувача _____ року навчання спеціальності _____

ПпБ

Тема: _____

Кваліфікаційну роботу виконано при кафедрі під керівництвом _____

Обсяг роботи _____ с.

Робота містить таблиць _____, _____ рисуноків.

Список літератури включає _____ першоджерел

Тема роботи є _____

актуальною, не актуальною, чітко визначеною, не чітко визначеною

Зміст роботи тему розкриває _____

повністю, не повністю, тему не розкриває

Роботу оформлено _____

відповідно до вимог, з порушенням вимог

Висновки і пропозиції

обґрунтовані/не обґрунтовані, відповідають/не відповідають поставленим завданням

Найбільш вагомим результатом роботи є *вказати ключові аспекти роботи*

Зауваження, побажання: _____

Висновок _____

відповідає/не відповідає вимогам, заслуговує оцінки відмінно, добре, задовільно

Рецензент _____

підпис, вчене звання прізвище, ім'я, по батькові

« _____ » 20 _____ р.

ВСТУП

Хліб в Україні є важливою частиною щоденного раціону харчування, оскільки він не лише задовольняє потреби організму в енергії, але й містить багато корисних складових, таких як білки, вуглеводи і мінеральні речовини.

Тому серед важливих завдань сучасної хлібопекарської промисловості є: покращення якості сировини і продукції, розширення асортименту продукції, а також розширення сировинної бази. Оскільки хліб є масовим виробом, це можна використати для створення оздоровчих продуктів шляхом внесення до його складу тих компонентів, дефіцит яких відчувається в організмі населення на даній території: вітаміни, кальцій, йод, цинк, залізо, селен та ін. [2, 17, 24].

Одна з актуальних проблем у світі і, зокрема, в Україні – це висока захворюваність на залізодефіцитну анемію, спричинену недостатньою кількістю легкозасвоюваного заліза в продуктах, які виробляє харчова промисловість. Хлібобулочні вироби, збагачені залізом, є перспективним і рентабельним способом [1, 27, 33] вирішення проблеми нестачі цього мікроелемента в раціоні харчування населення.

Для збагачення існують різні залізовмісні добавки. Найефективнішими вважаються добавки органічного походження, оскільки вони легше засвоюються організмом і їх вживання в меншій мірі супроводжується побічними чи алергічними реакціями [19, 28].

Мета роботи – на основі існуючих досліджень впливу органічних та неорганічних носіїв двовалентного заліза на технологічний процес виробництва хліба обґрунтувати необхідність удосконалення технології хлібобулочних виробів за рахунок збагачування залізом.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Фізіологічна роль заліза та аналіз причин його нестачі

Інтенсивна конкуренція у харчовій галузі змушує виробників постійно вносити зміни до традиційних методів виготовлення продуктів. Нерідко ці зміни призводять до значних втрат корисних компонентів початкової сировини, таких як вітаміни та мінеральні речовини [9]. Крім того, сільськогосподарська сировина, що надходить на переробку, часто має знижений вміст мікронутрієнтів. Це відбувається через неконтрольоване застосування хімічних добрив, які прискорюють ріст і дозрівання рослин. У підсумку, кінцевий продукт, який отримує споживач, має істотно нижчу біологічну цінність, ніж та, що необхідна для повноцінного функціонування всіх систем організму, особливо в дитячому та молодому віці. За оцінками [4], саме склад продуктів харчування на 40% впливає на стан здоров'я людини. З огляду на це, розроблення функціональних продуктів з оздоровчими властивостями, які досягаються шляхом додаткового внесення до їхнього складу носіїв вітамінів, макро- та мікроелементів під час технологічного процесу, є надзвичайно актуальною задачею [23].

Залізо належить до мікроелементів, дефіцит якого особливо гостро відчувається у раціоні харчування різних верств населення, що проявляється у зростанні захворюваності на залізодефіцитну анемію. Залізодефіцит є найбільш поширеним нутритивним дефіцитом у світі, вражаючи до 25% світового населення [1], анемією страждає майже 2 мільярди людей [29]. Це стосується передусім осіб, чия професійна діяльність пов'язана з важкими фізичними навантаженнями, жінок репродуктивного віку, дітей [1] та людей похилого віку. В Україні, за результатами досліджень [3], до 20% жінок репродуктивного віку мають знижений рівень феритину (запасне залізо). Анемія діагностується за зниженням концентрації гемоглобіну в крові: показник нижче 110 г/л для дітей і вагітних жінок, а також 120 г/л і 130 г/л для дорослих жінок і чоловіків відповідно [6, 7, 25]. Розподіл заліза в організмі людини представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Розподіл заліза в організмі

Гемоглобін еритроцитів	Міоглобін (м'язові тканини)	Ферритин (запасне залізо)	Ферменти	Трансферин (в плазмі крові)
57-62%	5-9%	25-30%	0,5%	0,1%

Критично важливим є включення до раціону продуктів, багатих на залізо. При цьому необхідно брати до уваги здатність організму засвоювати залізо з того чи іншого джерела. Рослинна сировина та продукти, виготовлені з неї, є джерелом неорганічного заліза з низьким ступенем засвоєння, тоді як гемове залізо, що має високу засвоюваність (до 30%), надходить до організму у складі продуктів тваринного походження [28, 19]. Водночас, висока вартість основного джерела гемового заліза — м'ясних виробів — робить їх недоступними для значної частини суспільства з низькими доходами. Середньодобове споживання людиною окремих форм заліза наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Показники, що характеризують споживання окремих форм заліза на добу

Показники	Форма заліза		
	Гемове	Негемове	Загальне
Середнє споживання, мг/добу	1,09	14,45	15,54
Питомий об'єм, %	7,0	93,0	100

Окрім недостатнього вживання продуктів, багатих на залізо, до причин залізодефіцитної анемії належать: хронічні крововтрати, підвищена витрата запасного заліза під час вагітності та інтенсивного росту у дітей, а також порушення процесу всмоктування заліза при певних хронічних захворюваннях шлунково-кишкового тракту [19, 29].

Для лікування анемії використовуються різноманітні медикаментозні засоби, які переважно містять сульфатну форму двовалентного заліза Fe^{+2} . Вважається, що сульфат заліза має найвищий рівень засвоєння серед неорганічних сполук заліза — від 3% до 5%. Однак, низька ціна цих препаратів не компенсує

їхніх недоліків, таких як низький терапевтичний ефект та численні побічні реакції.

Існують також фармацевтичні препарати на основі органічного заліза (наприклад, лактат заліза (II), глюконат заліза (II) та інші). Їхня перевага полягає у вищій засвоюваності (до 10%) та майже повній відсутності небажаних побічних дій. Окрему групу складають препарати гемового заліза, які містять залізо у тій самій формі, що й гемоглобін крові [28].

Існують наукові дані, які вказують на можливість використання і тривалентного заліза Fe^{+3} . Встановлено, що якщо йони Fe^{+3} захистити від процесів гідроксилювання у шлунково-кишковому тракті (наприклад, шляхом утворення хелатних зв'язків), то за своєю фармакологічною активністю такі препарати не поступаються Fe^{+2} -вмісним [5]. У цьому контексті перспективними вважаються комплексні Fe^{+3} -сполуки з макромолекулярними лігандами та деякими низькомолекулярними речовинами [5].

Інгібіторами всмоктування заліза є жири (сало, вершкове масло, олія), соєвий протеїн, молочні продукти, а також чай і кава (через значний вміст у них поліфенолів і танінів) [28]. Натомість, аскорбінова кислота та вітаміни групи В сприяють підвищенню частки засвоєного заліза [28].

Таким чином, надходження до організму легкозасвоюваного заліза є недостатнім. Це створює нагальну потребу у розробці спеціальних продуктів, які додатково збагачені доступними для засвоєння формами заліза до рівня, що відповідає фізіологічним потребам людини [17]. Така стратегія підтверджена світовим досвідом і є найбільш рентабельним, стійким та оптимальним підходом у боротьбі з дефіцитом заліза [27, 33].

1.2 Стратегія збагачення харчових продуктів мікронутрієнтами

На основі досліджень, проведених в Україні та ґрунтовного вивчення світового досвіду, були сформульовані науково обґрунтовані принципи збагачення харчових продуктів мікронутрієнтами [17]. Ці принципи враховують сучасні наукові знання про важливість харчування, про потреби організму в

конкретних поживних речовинах та енергії, а також про реальну структуру харчування [2].

Збагачення є серйозним втручанням у традиційні технологічні процеси, яке вимагає від фахівців харчової промисловості не лише технологічних знань, а й глибоких знань у сфері харчової хімії, біохімії та гігієни харчування [9].

Наукова стратегія та практичні підходи до збагачення харчових продуктів мікронутрієнтами ґрунтуються на наступних засадах, сформульованих у документах Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [2]:

1. Для збагачення продуктів слід використовувати ті мікронутрієнти, дефіцит яких є реально і широко розповсюдженим та становить загрозу для здоров'я населення [1, 29].

2. Вітамінами та мінеральними речовинами необхідно збагачувати насамперед продукти масового споживання, які є доступними для всіх вікових груп населення і регулярно входять до повсякденного раціону [2].

3. Регламентований, тобто гарантований виробником, вміст вітамінів і мінеральних речовин у збагаченому продукті повинен забезпечувати 30-50% середньодобової потреби організму в цих мікронутрієнтах при звичайному рівні споживання збагаченого продукту [2].

4. Збагачення харчових продуктів вітамінами та мінеральними речовинами не повинно погіршувати споживчі характеристики цих продуктів: зменшувати вміст чи засвоюваність інших корисних речовин, помітно змінювати смак, аромат, свіжість продуктів, чи скорочувати термін їхнього зберігання [17].

5. Ефективність збагачених продуктів має бути підтверджена випробуваннями, які засвідчують не лише їхню повну безпечність, а й достатню засвоюваність, прийнятні смакові якості та здатність суттєво покращувати забезпеченість організму тими вітамінами та мінералами, які були додатково введені до складу продукту [2, 31].

Кількість вітамінів і мінеральних речовин, що додатково вводяться до продуктів, повинна враховувати як їхній можливий природний вміст у вихідній сировині, так і втрати, що відбуваються в процесі виробництва і зберігання. Компоненти збагачувальних препаратів також можуть вступати у взаємодію між

собою та зі складовими самого продукту. Тому необхідно обирати такі поєднання добавок, які гарантують максимальне збереження корисних речовин у ході технологічного процесу та зберігання [17, 34].

У Таблиці 1.3 наведено ключові аспекти, якими слід керуватися при виборі носія мікронутрієнта.

Таблиця 1.3 Фактори, що впливають на вибір носія мікронутрієнта

Вибір носія мікронутрієнта		
Медико-біологічні аспекти	Технологічні аспекти	Економічні аспекти
<ul style="list-style-type: none"> - безпека носія мікронутрієнта - вміст мікронутрієнта в носії - біологічна засвоюваність мікронутрієнта з продукту-носія - рекомендований вміст мікронутрієнта в х/б виробих - рекомендована норма вживання х/б виробів 	<ul style="list-style-type: none"> - вплив носія мікронутрієнта на активність процесів бродіння - вплив на біохімічні перетворення в тісті - вплив на якісні показники клейковини тіста та на стан колоїдних процесів в ньому - вплив на органолептичні та фізико-хімічні показники якості хліба - втрати мікронутрієнта під час випікання - спосіб внесення добавки в напівфабрикати хлібопекарського виробництва 	<ul style="list-style-type: none"> - ціна продукту-носія мікронутрієнта - наявність носія мікронутрієнта на ринку країни - наявність промислового виробництва носія мікронутрієнта в країні

Отже, властивості обраного носія мікронутрієнта не повинні суперечити принципам ВООЗ, а його вибір має бути ретельно обґрунтований з урахуванням медико-біологічних, технологічних та економічних чинників [17].

1.3 Залізовмісні продукти та досвід їх використання

Хлібопродукти, як найбільш доступні та недорогі продукти харчування, є важливим джерелом мінеральних речовин для організму [10]. Вміст мінеральних елементів, зокрема заліза, у хлібобулочних виробих (таблиця 1.4) безпосередньо залежить від їхньої концентрації у вихідній сировині.

Таблиця 1.4 Вміст заліза в хлібі

Показник	Вид хліба				
	житній обойний формовий	пшеничний обойний	пшеничний Іс подовий	Пшеничний в/с формовий	Батони нарізні Іс

Вміст заліза, мг/100 г виробу	3,9	4,2	3,6	1,1	1,9
----------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Основною сировиною для виготовлення хліба є борошно [12]. Внаслідок технологічної переробки зерна на борошно відбувається значне зменшення кількості мінеральних речовин, які видаляються разом із висівками [20]. Сам процес приготування хлібобулочних та борошняних кондитерських виробів також спричиняє втрати цих біологічно активних компонентів [28]. Наприклад, вміст заліза та кальцію зменшується у 2–6 разів під час виробництва хліба, від етапу помелу зерна до випікання [28]. Відповідно, чим вищий сорт борошна, тим менше в ньому міститься макро- та мікроелементів (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 Вміст заліза в різних сортах борошна

Показник	Борошно пшеничне				Борошно житнє		
	вищий сорт	перший сорт	другий сорт	обойне	сіяне	обдирне	обойне
Вміст заліза, мг/100 г	1,2	2,1	3,3	4,1	2,9	3,5	4,1

Основну частину мінеральних речовин борошна становлять макроелементи: кальцій, фосфор, натрій, калій, магній, сірка, хлор. Вони складають 99,9% від загальної кількості мінеральних речовин борошна [9]. Поряд з макроелементами, у борошні присутні мікроелементи (залізо, йод, цинк, кобальт, марганець та ін.), масова частка яких становить тисячні та сотисячні частки відсотка його маси [12].

Основними методами підвищення мінеральної цінності хлібобулочних виробів можуть бути:

- Виробництво виробів з борошна низьких сортів або з цільозмеленого зерна.
- Корекція мінерально-вітамінного балансу шляхом введення сумішей-збагачувачів (преміксів) у процесі приготування тіста на хлібопекарських підприємствах [10, 12, 31].
- Включення до рецептури виробів добавок, що містять залізо [34].

Особливо перспективним напрямком є внесення до складу хлібобулочних виробів преміксів з точно визначеним вмістом мікронутрієнтів, що дозволяє гарантувати певний вміст вітамінів і мінеральних речовин у кінцевому продукті [2].

У деяких країнах застосовується практика збагачення пшеничного борошна залізом. Однак, це вимагає встановлення дорогого обладнання та значної модифікації існуючих технологічних схем [31]. Крім того, водорозчинні сполуки заліза, які використовуються, схильні до окисно-відновних перетворень, спричиняючи погіршення якості борошна і руйнування деяких вітамінів [28].

Оскільки останнім часом зростає частка хлібобулочних виробів, виготовлених з борошна вищих сортів, виникає необхідність збагачення легкозасвоюваним залізом саме виробів, що базуються на цих сортах борошна.

Подібно до фармацевтичних засобів, препарати заліза, призначені для збагачення харчових продуктів, існують на основі неорганічної, органічної та гемової форм заліза. Хоча засвоюваність заліза з неорганічних носіїв є низькою, їхня доступна ціна робить ці препарати привабливими для розробників.

Організм людини здатний засвоювати залізо у (Fe^{+2}) [19]. Саме ця форма заліза є частиною гема, який у поєднанні з білком глобіном утворює гемоглобін.

Існують наукові дані, які вказують на можливість використання і тривалентного заліза (Fe^{+3}). Встановлено, що якщо йони Fe^{+3} захистити від процесів гідроксилювання у шлунково-кишковому тракті, то за своєю фармакологічною активністю такі препарати не поступаються Fe^{+2} -вмісним і не викликають характерних побічних явищ [5]. У цьому контексті перспективними вважаються комплексні Fe^{+3} -сполуки з макромолекулярними лігандами (білками, полісахаридами) [5]. За результатами досліджень [5] було ідентифіковано Fe^{+3} -полісахаридний комплекс, який демонструє високу антианемічну активність.

Харчові добавки, що містять залізо у легкодоступній гемовій формі, все частіше застосовуються для профілактики та лікування залізодефіцитних станів [19]. Це зумовлено їхньою нешкідливістю та наявністю в організмі людини високоефективних, готових механізмів всмоктування та утилізації гемового заліза [19]. У цьому напрямку існують також розробки українських науковців.

На кафедрі гігієни харчування та мікробіології Харківського державного університету харчування і торгівлі (ХДУХТ) розроблено продукт гемового заліза "Гемовітал" [15], який містить 1,3~г/кг гемового заліза, і проведено дослідження збагачення пшенично-житнього хліба цим продуктом [14, 15]. "Гемовітал" вводили до рецептурної суміші за традиційною технологією. Теоретично, добова потреба організму може бути забезпечена введенням 10-12% препарату до рецептури хліба. Однак, відсоток введення цієї добавки обмежений, оскільки вона погіршує органолептичні показники виробів: надає продукту небажаного присмаку і сильно затемнює м'якушку [14]. Це суперечить науковій стратегії збагачення [17]. Тому вміст "Гемовіталу" у готових виробах був обмежений до 5% [15].

Хоча така кількість заліза не покриває добову потребу повністю, збагачений хліб слугує додатковим джерелом легкозасвоюваного заліза у раціоні людини. Дослідні зразки хліба з 5% "Гемовіталу" були визнані найбільш прийнятними за органолептичними показниками [15].

Були проведені дослідження впливу гемової та сульфатної форм заліза на ферментативну активність дріжджів — підйомну силу, зимазну та мальтазну активність, а також їхню життєздатність. Введення гемового заліза у концентраціях від 3% до 9% не мало значного впливу на ферментативну активність дріжджів. Натомість, внесення до середовища сульфатного заліза негативно позначилося на активності дріжджів. Життєздатність дріжджів помітно знижується вже при внесенні 3% сульфату [15].

Введення "Гемовіталу" до рецептури хліба у кількості 3–9% не чинить негативного впливу на дріжджі та якісні характеристики хліба, що формуються внаслідок їхньої життєдіяльності: пористість, стан м'якушки тощо [15].

Також досліджувався вплив гемового і сульфатного заліза на життєздатність лактобактерій тіста. Введення сульфатного заліза закислює середовище, пригнічуючи розвиток молочнокислих бактерій. Додавання "Гемовіталу" до поживного середовища практично не змінює життєздатність молочних бактерій. Оптимальна концентрація гемового заліза в середовищі становить 3–5% [15]. При додаванні "Гемовіталу" тісто стає більш лужним. Тому необхідно збільшити час

бродіння, але скоротити час вистоювання. В процесі випікання хліба гемові структури зазнають незначних змін, що забезпечує високу біологічну цінність кінцевого продукту.

Отже, встановлено значну ефективність продукту "Гемовітал" для збагачення хлібобулочних виробів гемовим залізом. Цей препарат дозволяє створювати продукцію з більш високою харчовою та біологічною цінністю без суттєвих змін у технологічному процесі [15].

Як за кордоном, так і в Україні триває активна робота зі створення харчових добавок, що містять суміш вітамінів, амінокислот та мінеральних речовин — преміксів [31]. Ці комплексні добавки покликані одночасно забезпечувати організм низкою необхідних мікронутрієнтів [31, 33].

Сучасні дослідження активно розвивають технології мікроінкапсуляції та наноінкапсуляції заліза. Ці методи дозволяють захистити активний компонент від взаємодії з компонентами борошна, що запобігає небажаній зміні кольору, смаку та запаху хліба, а також збільшує стабільність заліза протягом терміну зберігання [34, 32].

Запропонована технологія збагачення хлібобулочних виробів залізом і вітамінами, яка була широко апробована, має низку суттєвих переваг над збагаченням борошна на борошномельних підприємствах, оскільки вона:

- Не вимагає додаткового обладнання, що значно знижує витрати [34].
- Виключає можливість втрат вітамінів, які виникають у процесі збагачення борошна на млинах та його подальшого зберігання [28].
- Запобігає окисному псуванню борошна під час зберігання, яке настає при введенні до нього продуктів заліза [34].

Зазвичай мікронутрієнтами прийнято збагачувати продукти регулярного вживання: борошно, макаронні вироби, молоко. Але це не виключає можливості та доцільності збагачення продуктів, призначених для окремих груп. До таких продуктів належать кондитерські вироби, яким найбільше віддають перевагу діти [18].

Кондитерські вироби є великою групою висококалорійних продуктів, що користуються високим попитом. Основний їхній недолік полягає у низькій

фізіологічній цінності [18]. Водночас, вони розглядаються як зручні об'єкти для збагачення мікронутрієнтами. Висока ефективність кондитерських виробів, збагачених мікронутрієнтами, підтверджена результатами клінічних випробувань [18]. Розробляється широкий асортимент дієтичних кондитерських виробів, у тому числі збагачених вітамінами, кальцієм та залізом [18].

Грамотне створення продуктів харчування, збагачених мікронутрієнтами, вимагає наукового підходу, високого професіоналізму, глибоких і різнобічних знань, відповідного аналітичного та технологічного забезпечення, а також відповідального ставлення виробника до якості продукції [17]. Успішне вирішення цих завдань можливе лише за умов тісної співпраці інженерів-технологів харчової промисловості з фахівцями у сфері гігієни харчування та хімії харчових продуктів [24].

Висновки до розділу

Проблема недостатнього надходження заліза з продуктами харчування є актуальною в Україні, оскільки його дефіцит є причиною залізодефіцитної анемії, на яку страждає майже 2 мільярди людей у світі (близько 25% населення). Існує нагальна потреба у додатковому внесенні легкозасвоюваних форм заліза до складу продуктів, які споживаються регулярно, зокрема, шляхом збагачення хлібобулочних виробів. Збагачення харчових продуктів є найбільш рентабельною та стійкою стратегією боротьби з дефіцитом заліза.

Збагачення продуктів має відбуватися відповідно до рекомендацій ВООЗ. При цьому обов'язково враховуються медико-біологічні, технологічні та економічні чинники.

Існує достатня кількість залізовмісних продуктів вітчизняного та закордонного виробництва, створених на основі неорганічних, органічних та гемової форм заліза, а також у вигляді преміксів. Всі вони різняться за біологічною ефективністю, по-різному засвоюються і впливають на технологічний процес виготовлення оздоровчих продуктів. Завдання фахівців харчової галузі — науково обґрунтувати вибір конкретного залізовмісного продукту та оптимальний спосіб збагачення.

Виходячи зі світового та вітчизняного досвіду, перевагу слід надавати носіям, створеним на основі органічних або гемових сполук заліза, оскільки вони легше засвоюються організмом і мають менше важких побічних ефектів. Перспективним напрямком є використання сучасних технологій мікроінкапсуляції для підвищення стабільності та біодоступності заліза у ХБВ.

Літературні джерела містять результати порівняльної оцінки впливу різних носіїв заліза на технологічні особливості виробництва хлібобулочних виробів та їхні якісні показники. Проведення удосконалення технології ХБВ за такої оцінки є основним завданням цієї роботи.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ РОБОТИ

Для реалізації мети роботи – збагачення хлібобулочних виробів – здійснювали шляхом додавання заліза у гемовій формі – препарат гемового заліза "Гемовітал" [23]. Характеристика носія заліза представлена у таблиці 2.1.

Дозування залізовмісного продукту було ретельно розраховано таким чином, щоб забезпечити 50% середньодобової потреби організму людини у залізі, виходячи із загальноприйнятої добової норми споживання хліба, що становить 277 г.

Таблиця 2.1. Характеристика носія заліза

Носій	Виробник, середня вартість	Форма випуску	Вміст Fe ²⁺ , %	Дозування носія в тісто		
				Кількість, % до маси борошна	Робочий розчин носія	
					Концентрація, %	Кількість розчину, см ³ /на 100 г борошна
"Гемовітал"	Україна, 550 грн/кг	Порошок коричневого кольору	0,001	3,5	-	-

Препарат „Гемовітал” розроблено на кафедрі гігієни харчування та мікробіології Харківського державного університету харчування і торгівлі. Вміст азоту у „Гемовітал” складає 11,9 г на 100 г продукту. Кількість білку відповідно = $11,9 \cdot 6,25 = 75,0$ %. Кількість небілкового азоту складає 0,5 г на 100 г продукту. Отже, „Гемовітал” можна вважати не тільки препаратом гемового заліза, але й білковим продуктом. Результати аналізу амінокислотного складу представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Амінокислотний склад препарату гемового заліза

Амінокислота	Кількість амінокислоти в 100 г добавки	% до загальної кількості
Лизин	4,115	8,27
Гістидин	2,893	5,87
Аргінін	2,181	4,38
О-пролін	0,000	0,00
Асп. кислота	2,817	5,66
Треонін	2,662	5,35
Серин	2,971	5,97
Глут. кислота	6,174	12,40

Пролін	2,415	4,85
Гліцин	2,355	4,73
Аланін	4,248	8,53
Цистін	1,246	2,50
Валін	3,308	6,64
Метіонін	0,951	1,91
Ізолейцин	0,347	0,70
Лейцин	5,902	11,86
Тирозин	1,657	3,33
Фенілаланін	3,533	7,10
Разом	49,775	100

З таблиці 2.2 видно, що дієтичний продукт „Гемовітал” має високий вміст незамінних амінокислот, г/100 г продукту: лейцину – 5,9; лізину – 4,1; валіну – 3,3; гістидину – 2,9. За даними розробників у „Гемовіталі” міститься 7 % вуглеводів (нерозчинні полісахариди) і 2 % жирів. Активна кислотність (рН) становить 8,2, титрована кислотність 2,5 °Т. Невідповідність між титрованою кислотністю і рН пояснюється здатністю білкових речовин препарату утворювати лужний буферний розчин. Тому титрування 0.1н лугом показує, що середовище кисле, а покази рН-метра вказують на слаболужне середовище.

„Гемовітал” містить: білків - 75,0 %, жирів - 2,0 %, вуглеводів - 7,0 %, золи - 3,8 %, вологи - 12,2 %. Отже „Гемовітал” є ще і додатковим джерелом білку, в т.ч. незамінних амінокислот, при додаванні його до харчових продуктів.

Розчин „Гемовіталу” має лужну реакцію, що може негативно вплинути на технологічний процес виробництва хліба, зокрема на накопичення кислотності у напівфабрикатах, тому доцільно подовжувати час їх бродіння. Лактат і сульфат заліза вводили в тісто як попередньо підготовлені робочі розчини, тоді як порошкоподібний препарат гемового заліза "Гемовітал" попередньо гомогенно змішували з пшеничним борошном. Усі дослідження проводили з використанням пшеничного борошна першого сорту. Ключові показники його хлібопекарських властивостей, які є важливими для моделювання технологічного процесу [27], наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Показники якості борошна

Показники якості	Масова частка вологи, %	Вміст сирої клейковини, %	Гідратаційна здатність клейковини, %	Опір клейковини стисненню, од. пр.	Розтяжність клейковини, см
Борошно пшеничне першого сорту	10,5	26,7	194,1	71,8	17,0

Для розпушення тіста використовували дріжджі хлібопекарські пресовані (згідно з чинним ДСТУ 4851:2007 або його пізнішими редакціями) [17].

Слід зазначити, що сульфат заліза (II) не включено до офіційного переліку носіїв заліза, дозволених до широкого застосування у харчовій промисловості України [17], через брак вичерпних даних щодо його впливу на технологічний процес та безпеку для кінцевого споживача. Однак, для проведення порівняльного аналізу з дозволеними органічними носіями, сульфат заліза (II) був визнаний прийнятним для експериментального використання.

Висновки до розділу

Обрано та охарактеризовано об'єкти досліджень (борошно першого сорту, неорганічні, органічні та гемові носії заліза). Наведено та систематизовано методики контролю якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

3.1. Вимоги до сировини та матеріалів

Якість готової хлібобулочної продукції, особливо функціонального призначення, на пряму залежить від відповідності вхідної сировини та матеріалів чинним стандартам та технічним умовам [17, 32]. Всі компоненти, що використовуються для виробництва батону, збагаченого залізом, мають відповідати вимогам санітарно-епідеміологічного законодавства України та мати відповідні сертифікати якості [20].

Основна сировина – борошно пшеничне (вищий сорт) – є основним інгредієнтом, що визначає фізико-хімічні та структурно-механічні властивості тіста. Повинно відповідати вимогам ДСТУ 46.004-99 (або чинному стандарту) за такими показниками: масова частка вологи (не більше 15%); кількість та якість клейковини (не менше 28%, I група якості); крупність помелу; кислотність; число падіння [45].

Для збагаченого продукту борошно має мати хороші хлібопекарські властивості, оскільки деякі форми заліза можуть дещо прискорювати окислювальні процеси у тісті [23].

Для біологічного розпушування тіста використовують дріжджі хлібопекарські пресовані, які мають відповідати ДСТУ 46.002:2003 (або чинному стандарту) за показниками підйомна сила (не більше 70 хв); кислотність; чистота [12].

Необхідно враховувати, що іони заліза можуть взаємодіяти з дріжджовими клітинами, тому важливо використовувати свіжі дріжджі з високою ферментативною активністю [23].

Вода питна використовується для замісу тіста та приготування розчинів, повинна відповідати чинним нормам за органолептичними, хімічними та бактеріологічними показниками. Жорсткість води є важливим технологічним фактором, що впливає на консистенцію тіста та активність дріжджів [5].

Цукор-пісок, сіль кухонна, маргарин повинні відповідати чинним ДСТУ та мати належну органолептичну оцінку, підтверджуючи їхню безпеку та придатність до використання у харчовій промисловості [5].

Використання залізовмісної добавки є критичним елементом технології і висуває додаткові вимоги до якості та безпеки [34]: добавка повинна мати високий ступінь очищення та відповідати специфікаціям, які гарантують відсутність домішок, зокрема важких металів (свинець, кадмій, ртуть), згідно з міжнародними та національними стандартами [20, 43]. Вибір форми заліза (наприклад, лактат) має бути обґрунтований його високою біодоступністю та мінімальним впливом на органолептичні властивості готового виробу (смак, колір, запах) [34, 37]. Добавка має вноситися суворо відповідно до розрахункової рецептури (таблиця 2.1) для забезпечення заявленого рівня збагачення 50% від рекомендованої добової норми без перевищення допустимих безпечних меж [34].

Надходження кожної партії сировини та матеріалів на підприємство має супроводжуватися відповідними документами, що засвідчують їхню якість та безпечність (Сертифікати відповідності, Висновок СЕС). Підприємство, що працює за системою НАССР, повинно проводити вхідний контроль сировини в рамках Програм-передумов (ПП), що є запорукою екологічної безпеки харчування [20, 43].

3.2 Продуктовий розрахунок

Розрахунок рецептури батону, збагаченого залізом

Таблиця 3.1. Співвідношення вологи і сухих речовин в сировині

Сировина	Маса, кг	Вологість,%	Маса сухих речовин, кг
Борошно пшеничне в/с	100,0	14,5	85,5
Дріжджі хлібопекарські пресовані	1,5	75,0	0,375
Сіль кухонна харчова	1,3	-	1,3
Цукор-пісок	2,5	-	2,5
Маргарин	2,5	16,5	2,09
Лактат заліза (II)	0,017	-	0,017
Разом	107,82	-	91,78

Вихід тіста

$$G_T = \frac{91,78 * 100}{100 - 43,5} = 162,44 \text{ кг}$$

$$W_T = W_{\text{хл}} + (0,5...1) = 42,5 + 1 = 43,5 \%$$

Кількість води в тісто

$$G_{B^T} = 162,44 - 107,82 = 54,62 \text{ кг}$$

Кількість води з дріжджовою суспензією:

$$G_{дс} = 1,5 + 4,5 = 6 \text{ кг}$$

$$G_{B^{д.с}} = 4,5 \text{ кг}$$

Розрахунок цукрово-сольового розчину

Концентрація цукру 70%

$$\text{Концентрація ц-с р-ну} + \text{лактат: } G_{цсп} = \frac{2,5 * 100}{70} = 3,6 \text{ кг} + 0,017 = 3,62 \text{ кг}$$

Вміст солі в цукрово-сольового розчині:

$$G_{цспс} = \frac{2,5 * 2,5}{100} = 0,1 \text{ кг}$$

Необхідна кількість сольового розчину:

$$G_{сп} = \frac{(1,3 - 0,1) * 100}{26} = 4,6 \text{ кг}$$

Кількість води з ц-с р-ном:

$$G_{цспв} = 3,62 - 2,5 - 0,1 = 1,0 \text{ кг}$$

Кількість води з сольовим р-ном:

$$G_{в}^{cp} = 4,2 - 1,2 = 3,4 \text{ кг}$$

Таблиця 3.2. Співвідношення вологи і сухої речовини в опарі

Сировина	Маса, кг	Вологість, %	Сухі речовини, кг
Борошно пш. в/с Дріжджі пресовані	65,0 1,5	14,5 75	55,375 0,375
Разом	66,5	-	55,95

Кількість опари для тіста:

$$G_{оп} = \frac{55,95 * 100}{100 - 43} = 98,16 \text{ кг}$$

Кількість води в опару:

$$G_{в}^{оп} = 98,16 - 66,5 - 4,5 = 27,16 \text{ кг}$$

Кількість води в тісто:

$$G_{в}^T = 54,62 - 4,5 - 1,0 - 3,4 - 27,16 = 18,56 \text{ кг}$$

Таблиця 3.3. Рецептатура приготування тіста для батону, збагаченого залізом

Сировина і н/ф	Маса, кг	В опару	В тісто
Борошно пшеничне в/с	100,0	65,0	35,0
Дріжджова суспензія	6,0	6,0	-
Сольовий розчин	4,6	-	4,6
Цукрово-сольовий р-н з лактатом заліза	3,62	-	3,62
Маргарин	2,5	-	2,5
Опара	-	-	98,16
Вода	45,72	27,16	18,56
Разом	162,44	-	162,54

Розрахунок виходу батону, збагаченого залізом

Формула втрат і витрат:

$$Q_{хл} = q_T - (Пб + Пт + Зоб + Зобр + Зуп + Зус + Пкр + Пшт + Пбр)$$

$$q_T = \frac{M_{сир} * (100 - W_{ссу})}{100 - W_m} \text{ - вихід тіста.}$$

Середньо зважена вологість сировини:

$$W_{сир} = \frac{(100 * 14,5 + 1,5 * 75 + 2,5 * 16)}{100 + 1,3 + 1,5 + 2,5 + 2,5 + 0,017} = 14,86 \%$$

$$q_r = 162,5 \text{ кг}$$

Втрати борошна до замішування тіста, % до маси тіста:

$$Пб = \frac{100 - 14,5}{100 - 43,5} * 0,03 = 0,045 \%$$

Втрати борошна і тіста в період від замішування до посадки в піч, % до м тіста

$$Пт = \frac{100 - 14,86}{100 - 43,5} * 0,05 = 0,075 \%$$

Витрати на бродіння н/ф, % до маси тіста:

$$Збр = \frac{3,1 * 0,95 * (107,82 - 0,70) * (100 - 14,86)}{1,96 * (100 - 43,5) * 100} = 2,43\%$$

Втрати борошна при випіканні (усихання), % до маси тіста:

$$Зуп = \frac{162,5 - (0,045 + 0,075 + 2,43 + 0,36)}{100} * 9,5 = 15,16 \%$$

Втрати під час укладання гарячого хліба, % до маси тіста:

$$Зукл = \frac{162,5 - (0,045 + 0,075 + 2,43 + 0,36 + 15,16)}{100} * 0,7 = 1,01 \%$$

Втрати від усихання, % до маси тіста:

$$Зус = \frac{162,5 - (0,045 + 0,075 + 2,43 + 0,36 + 15,16 + 1,01)}{100} * 4,0 = 5,74 \%$$

При розрахунку втрат з крихтами і ломом Пкр і Пбр потрібно перерахувати значення $q_{кр}$, $q_{бр}$ до маси хліба:

$$q_{кр} = \frac{0,03 * 100}{136} = 0,022\% \quad q_{бр} = \frac{0,02 * 100}{136} = 0,015\%$$

$$Пкр = \frac{162,5 - (0,045 + 0,075 + 2,43 + 0,36 + 15,16 + 1,01 + 5,74)}{100} * 0,022 = 0,03\%$$

$$Пбр = \frac{162,5 - (0,045 + 0,075 + 2,43 + 0,36 + 15,46 + 1,01 + 5,74 + 0,03)}{100} * 0,015 = 0,02\%$$

Втрати за разунок неточної маси штучних виробів, % до маси тіста

$$Пшт = \frac{162,5 - (0,045 + 0,075 + 2,43 + 0,36 + 15,16 + 1,01 + 5,74 + 0,03 + 0,02)}{100} * 0,5 = 0,68\%$$

$$Q_{хл} = 162,5 - (0,045 + 0,075 + 2,45 + 0,36 + 15,16 + 1,01 + 5,74 + 0,03 + 0,02 + 0,68) = 136,95\%$$

Плановий вихід становить 136 %

Якщо н/ф готуються в устаткуванні безперервної дії, то виробничі рецептури розраховуються в одиницях хвилинних витрати сировини і напівфабрикатів. Для розрахунку виробничої рецептури обчислюється коефіцієнт перерахунку, який потім перемножується на дані таблиць пофазних рецептур.

Годинна витрата борошна при роботі печі:

$$M_{\text{б}}^{\text{год}} = \frac{600 * 100}{136} = 441,2 \text{ кг/год}$$

Коефіцієнт перерахунку пофазної рецептури:

$$K_{\text{хв}} = \frac{0,4412 * 1000}{100 * 60} = 0,074$$

Таблиця 3.4. Виробнича рецептура приготування тіста для батонів

Сировина і н/ф	Маса, кг	Фаза технологічного процесу	
		опара	тісто
Боршно пш.в/с	7,0	4,55	2,45
Дріжджова сусп.	0,42	0,42	-
Сольовий розчин	0,34	-	0,34
Цукрово-сольовий р-н	0,27	-	0,27
Маргарин	0,175	-	0,175
Вода	3,38	2,0	1,38
Опара	-	-	7,26
Разом	11,59	6,97	11,88

Таблиця 3.5. Технологічний режим приготування батону, збагаченого залізом

Параметри процесів	Опара	Тісто
Температура початкова °С	28-30	28...32
Тривалість бродіння, хв	120...140	40...60
Кислотність кінцева град.	5,5	4,5
Вологість%	-	43,5
Маса шматка тіста кг	-	0,625
Тривалість вистоювання хв	-	30...60
Температура вистоювання тістових заготовок °С	-	30
Температура випікання °С	-	220...240
Тривалість випікання хв	-	22...26

3.3 Апаратурно-технологічне забезпечення, опис технології

Технологічний процес виробництва збагаченого батону реалізується за опарним способом із застосуванням механізованої безперервної лінії згідно з апаратурно-технологічною схемою (рис. 3.1.). Ключовою особливістю є інтеграція залізовмісної добавки на етапі приготування тіста.

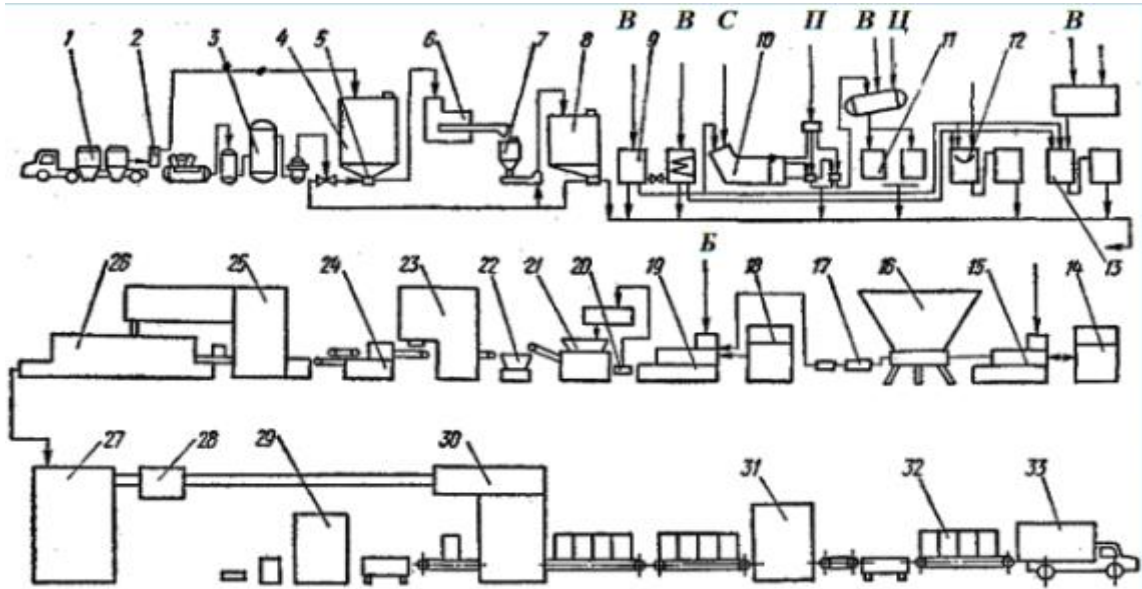


Рис. 3.1. Апаратурно-технологічна схема виробництва батонів

1 – автоборошновоз; 2 – приймальний щит; 3 – компресорна станція; 4 – силос для борошна; 5 – живильник борошна; 6 – просіювач; 7 – автоваги; 8 – виробничий бак для борошна; 9 – баки для води; 10 – прилад для приготування сольового розчину; 11 – прилад для приготування цукрового розчину; 12 – прилад для приготування суспензії дріжджів; 13 – прилад для емульгування жиру; 14 – дозуюча станція; 15 – тістомісильна машина для опари; 16 – бункер для бродіння опари; 17 – шнек для подачі опари; 18 – дозуюча станція; 19 – тістомісильна машина для тіста; 20 – прилад для подачі тіста; 21 – машина для поділу тіста; 22 – машина для округлювання; 23 – шафа попередньої розстійки; 24 – машина для закачування тіста; 25 – агрегат розстійки; 26 – хлібопечарна піч; 27 – агрегат для охолодження хліба; 28 – машина для загортки хліба; 29 – агрегат для підготовки лотків и конвеєрів; 30 – прилад для укладки хліба; 31 – агрегат для асортиментного комплектування контейнерів; 32 – прилад для завантаження в автохлібовоз; 33 – автохлібовоз.

Ефективна підготовка сировини є запорукою якості кінцевого продукту та відповідності вимогам НАССР [43]. Борошно надходить автоборошновозом (1), приймається через приймальний щит (2), де здійснюється контроль якості. За допомогою компресорної станції (3) борошно транспортується до силосів для зберігання (4). Перед замісом борошно із силосів (4) подається через живильник (5) на просіювач (6) (для видалення домішок та аерації), проходить через автоваги (7) та надходить у виробничий бак (8). Температура борошна — 20–25°C.

Підготовка рідких компонентів: Вода надходить у баки для води (9), де підігрівається до необхідної температури. Готують сольовий (10), цукровий (11) розчини, суспензія дріжджів (12) та емульсія жиру (13). Внесення лактату заліза (II) – попередньо розчиняється і вноситься у приладі для приготування сольового розчину (10) або цукрово-сольового розчину. Це забезпечує рівномірний розподіл добавки у всьому об'ємі тіста [34].

Усі рідкі компоненти та емульсія дозуються за допомогою дозуючої станції (14) і спрямовуються на заміс.

Процес тістоприготування реалізується на механізованих тістомісильних машинах Х-12. У тістомісильній машині (15) замішується опара (частина борошна, води, дріжджі). Час замісу — 5–7 хвилин. Температура опари після замісу — 28–30°C. Вимішана опара надходить у бункер для бродіння (16). Тривалість бродіння — 3,5–4,5 години. Температура — 29–31°C. Опара вважається вибродженою при досягненні максимальної кислотності.

Заміс тіста (Критична контрольна точка – ККТ) – виброджена опара подається шнеком (17) до дозуючої станції (18), а звідти до тістомісильної машини (19). Додається решта борошна, вода, жирова емульсія, та особливо: цукрово-сольовий розчин із лактатом заліза. Час замісу — 8–10 хвилин. Температура тіста після замісу — 28–30°C.

Етап внесення лактату заліза є ККТ, де контролюється точне дозування добавки згідно з вимогами НАССР [43].

Бродіння тіста – тісто подається через прилад для подачі (20) у бункер для бродіння тіста. Тривалість бродіння — 60–90 хвилин. Температура — 30–33°C.

Поділ та округлення – виброджене тісто надходить у тістоподільник "Гостол" (21), де ділиться на шматки заданої маси. Шматки тіста по транспортеру потрапляють у тістоокруглювач (22).

Попереднє розстоювання – округлені шматки тіста бродять у шафі попередньої розстійки РШВ (23). Тривалість — 5–8 хвилин (відпочинок тіста).

Формування та фінальне розстоювання – тістові заготовки закатуються (формується) у машині (24), після чого надходять до агрегату кінцевої розстійки

(25). Тривалість розстоювання — 45–60 хвилин. Температура — 35–40°C, відносна вологість — 75–85%.

Випікання: розстояні заготовки надходять до хлібопекарної печі ППЦ (26) (піч безперервної дії). Температура — 200–240°C (залежно від зони). Тривалість — 25–35 хвилин.

Гарячий хліб потрапляє на циркуляційний стіл/агрегат для охолодження (27). Тривалість охолодження — 30–60 хвилин до 30-35°C.

Охолоджений хліб надходить на машину для загортки (28), далі відбувається укладка в лотки (30). Після агрегату для асортиментного комплектування (31) продукція завантажується приладом (32) до автохлібовоза (33) для реалізації.

РОЗДІЛ 4

КОНТРОЛЬ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПРОДУКТУ, ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

4.1. Система контролю якості готової продукції

Контроль якості збагачених хлібобулочних виробів є багатоступінним процесом, який охоплює перевірку сировини, напівфабрикатів та готового продукту згідно з вимогами чинних стандартів (ДСТУ, ТУ) [17, 32].

Оцінка якості готового батону, збагаченого залізом, проводилася за стандартною методикою, щоб підтвердити, що внесення функціональної добавки не погіршує основні хлібопекарські властивості [16, 23].

Таблиця 4.1. Контроль якості батонів, збагачених залізом

Показник	Метод контролю	Характеристика
Зовнішній вигляд	Органолептичний	Форма, колір скоринки, відсутність розривів та пошкоджень [5].
Смак та запах	Органолептичний	Відповідність продукту типу: чистий, властивий хлібу, без сторонніх присмаків.
Питомий об'єм	Метод витіснення насіння (наприклад, ріпаку) [15]	Об'єм 100 г продукту (см ³ /100 г). Показує підйомну силу тіста та кінцеву пористість.
Пористість	Стандартний ваговий метод (визначення пористості м'якушки) [15]	Відношення сумарного об'єму пор до загального об'єму м'якушки (%). Визначає засвоюваність продукту.
Формостійкість (H/D)	Вимірювання (лінійкою або штангенциркулем)	Відношення висоти до діаметра/ширини виробу. Важливий для оцінки впливу заліза на структурно-механічні властивості тіста [5, 27].
Масова частка вологи	Арбітражний метод (висушування)	Повинна відповідати нормативним документам для даного виду продукту.
Масова частка заліза	Лабораторний метод (спектрофотометрія) [37]	Контроль вмісту мікроелемента, що має відповідати розрахунковому збагаченню.

Особлива увага приділялася контролю напівфабрикатів, де вноситься функціональна добавка:

Внесення залізовмісних солей може впливати на життєдіяльність дріжджових клітин, проводять контроль кислотності та підйомної сили тіста [16].

Вологість тіста контролюється після внесення робочого розчину добавки, щоб уникнути відхилень у консистенції та в'язкості тіста [23].

Екологізація виробничих процесів є стратегічним напрямом розвитку харчової промисловості, що передбачає інтеграцію екологічних вимог на всіх етапах життєвого циклу продукту — від вибору сировини до утилізації відходів [40]. Основною метою екологізації є мінімізація антропогенного навантаження на навколишнє середовище, оптимізація споживання природних ресурсів та підвищення екологічної безпеки кінцевої продукції [31].

У контексті впровадження технології збагачення хлібобулочних виробів залізом, екологічний аналіз сфокусований на трьох ключових напрямках:

1. Ресурсозбереження – аналіз впливу нової сировини (залізовмісних добавок) на норми витрати основних ресурсів (борошна, енергії, води).
2. Мінімізація відходів – оцінка впливу добавок на утворення вторинних сировинних та технологічних відходів.
3. Екологічна безпека продукту – підтвердження безпечності збагаченого продукту для споживача та навколишнього середовища згідно з чинними стандартами [17, 34].

Запропонована технологія є ресурсозберігаючою, оскільки вона не передбачає зміни суттєвих технологічних параметрів або збільшення тривалості виробничого циклу, що є головним фактором економії енергії та часу [12].

Витрати на електроенергію, газ та пару для виробництва 1 т продукції залишаються незмінними при впровадженні залізовмісних добавок (таблиця 5.3). Загальні витрати на паливо та енергію складають 2606,10 грн. (за актуальними цінами). Питоме енергоспоживання (ПЕ) для виробництва 1 кг збагаченого батону – енергетичні витрати становлять:

$$\text{ПЕ} = \text{Вихід (1000кг)} \cdot 1362606,10 \text{грн} \approx 1,91 \text{ грн/кг.}$$

Оскільки ця величина не збільшується порівняно з базовою технологією, технологія збагачення визнається нейтральною з точки зору збільшення енергоємності, що відповідає вимогам ресурсозбереження [40].

Введення заліза у вигляді лактату або сульфату передбачало попереднє розчинення у воді. Однак, загальна кількість води, що вноситься у тісто, визначається гідратаційною здатністю борошна (таблиця 2.2) і не збільшується, оскільки робочий розчин вноситься у рахунок загальної кількості рецептурної

води. При цьому технологічне водоспоживання не зростає, санітарно-гігієнічне водоспоживання на промивання обладнання та інвентарю також залишаються незмінними, оскільки добавка не створює стійких забруднень [22]. Таким чином, обсяги та хімічний склад промивних вод не змінюються, що виключає додаткове навантаження на систему очищення стічних вод підприємства.

Екологізація сировинної бази є одним із найважливіших аспектів. Обрані форми заліза (органічна, неорганічна, гемова) відповідають екологічним критеріям, оскільки:

Лактат заліза та сульфат заліза є високочистими, вводяться у мікродозах (0,017% до маси борошна) і повністю використовуються у складі продукту, не залишаючи значних залишків та не забруднюючи виробничі лінії [23].

Препарат "Гемовітал" як гемовий препарат, має природне походження. Його використання як порошкоподібної добавки, що змішується з борошном, мінімізує необхідність використання рідких робочих розчинів і додаткових ємностей, зменшуючи ризик просипів та втрат [37].

У хлібопекарському виробництві основними відходами є технологічні втрати борошна та тіста (просипи, обсіпка) та нестандартна продукція (брак).

Запропонована технологія не збільшує обсяг нестандартної продукції. Навпаки, оскільки добавка є активним каталізатором, її вплив на хлібопекарські властивості борошна (таблиця 2.2) був ретельно вивчений, щоб уникнути браку [5, 16].

У випадку виникнення некондиційного хліба, його утилізація (переробка на сухарну крихту, корм для тварин або вторинна переробка) залишається стандартною і не вимагає нових екологічних дозволів, оскільки хімічний склад продукту (за винятком мікродози заліза) є традиційним [42].

Ключовим елементом екологізації є забезпечення безпеки продукту для здоров'я людини, тобто екологія харчування.

Всі використовувані добавки мають сертифікати якості, що гарантує відсутність критичних концентрацій важких металів та токсичних елементів. Це відповідає вимогам ДСТУ ISO 22000 та системи HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) [20].

Впровадження добавки є Критичною Контрольною Точкою (ККТ), що вимагає сертифікат якості як підтвердження чистоти партії залізовмісного носія та точного дотримання дозування для запобігання надлишку заліза в готовому виробі [34].

Збагачення залізом не створює нових умов для розвитку мікроорганізмів і не впливає на термін придатності. Це мінімізує ризик утворення токсинів і запобігає масовому псуванню продукції, що є внеском у екологію харчування та зменшення харчових відходів [42].

Висновки до розділу

Проведений аналіз підтверджує, що удосконалення технології збагачення хлібобулочних виробів залізом відповідає принципам екологізації та ресурсозбереження. Технологія є енергонеітральною, не збільшує питоме споживання електроенергії та палива, не генерує нових видів промислових відходів і не змінює технологію утилізації нестандартної продукції.

Забезпечує високу якість і безпечність кінцевого продукту завдяки контролю ККТ згідно з принципами НАССР.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Впровадження нових функціональних компонентів до складу готових виробів завжди призводить до потенційного зростання виробничих витрат [21, 29]. З метою об'єктивної оцінки економічної доцільності затрат, пов'язаних зі збагаченням хлібобулочних виробів залізом, проведено порівняльний аналіз повної собівартості базового (вихідного) та удосконаленого (збагаченого) виробу.

Собівартість продукції, згідно з економічними нормативами, визначається як сукупність поточних витрат підприємства на виробництво продукції та її збут, виражених у грошовій формі [29].

Вихід готового батону для розрахунків прийнято на рівні 136%.

Стаття "Сировина та матеріали" включає витрати на основну та допоміжну сировину, що становить матеріальну основу виробленої продукції.

Таблиця 5.1. Вартість основної сировини для базового батону (без добавок)

Сировина	Норма витрат сировини на 1 т продукції, кг	Орієнт. ціна за 1 кг сировини, грн	Вартість сировини на 1 т продукції, грн
Борошно пшеничне в/с	735,29	14,00	10 294,06
Дріжджі хлібопекарські пресовані	11,03	62,50	689,38
Сіль кухонна харчова	9,56	10,00	95,60
Цукор-пісок	18,38	32,50	597,35
Маргарин	18,38	75,00	1 378,50
Всього	-	-	13 054,89

Таблиця 5.2. Вартість основної сировини для виробництва батону, збагаченого залізом

Сировина	Норма витрат сировини на 1 т продукції, кг	Орієнт. ціна за 1 кг сировини, грн	Вартість сировини на 1 т продукції, грн
Основна сировина	-	-	13 054,89
Лактат заліза (II)	0,125	625,00	78,13
Всього	-	-	13 133,02

Збільшення витрат на сировину становить: $13\ 133,02 - 13\ 054,89 = 78,13$ грн.

Стаття "Паливо та енергія" відображає витрати на всі види палива та енергії, що використовуються в процесі виробництва [29].

Таблиця 5.3. Вартість палива та електроенергії

Вид витрат	Норма витрат на 1 т продукції	Орієнт. вартість одиниці ресурсу, грн	Вартість ресурсу на 1 т продукції, грн
Електроенергія, кВт	49,2	6,75	332,10
Газ, м ³	97,2	20,00	1 944,00
Пара, м ³	33,0	10,00 (орієнт.)	330,00
Всього	-	-	2 606,10

Стаття "Основна заробітна плата" включає витрати нарахованої основної заробітної плати виробничого персоналу.

Таблиця 5.4. Розрахунок трудових витрат на виробництво 1 т батону, збагаченого залізом

Професія	Розряд	Орієнт. годинна тарифна ставка, грн	Кількість відпрацьованих людино-годин	Витрати тарифної заробітної плати, грн
Пекар-майстер	5	80,00	1	80,00
Пекар	3	65,00	5	325,00
Дозувальник	2	60,00	2	120,00
Тістороб	3	65,00	1	65,00
Формувальник	3	65,00	1	65,00
Машиніст ТОМ	3	68,00	2	136,00
Укладальник	3	65,00	2	130,00
Вантажник	3	65,00	1	65,00
Ремонтер	5	80,00	1	80,00
Всього	-	-	15	1 060,00

Норма виробітку батону за зміну становить 8400 кг.

Отже, витрати на основну заробітну плату на виробництво 1 т продукції складуть:

$$W_1 = (1060,00 * 1000) / 8400 = 126,19 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5. Доплати по заробітній платі

Доплати	Норма, %	Значення (на 1 т), грн
Доплати за роботу вночі	75	94,64
Доплати за вихідні дні	100	126,19
Доплати за умови праці	10	12,62
Премії	50	63,10
Всього доплат	-	296,55

Повні витрати на заробітну плату (разом із доплатами) на виготовлення 1 т продукції становлять:

$$W_{\text{заг}} = 126,19 + 296,55 = 422,74 \text{ грн.}$$

Стаття "Відрахування на соціальні заходи" відрахування на соціальні заходи (ЄСВ) приймаються на рівні 22% [17].

$$S = W_{\text{заг}} * 0,22 = 422,74 * 0,22 = 92,99 \text{ грн.}$$

Стаття "Витрати на утримання та експлуатацію обладнання" - приймаємо орієнтовну вартість обладнання 2000 тис. грн.

Таблиця 5.6. Розрахунок амортизаційних відрахувань на поточний та капітальний ремонт

Вид основних фондів	Орієнт. вартість, тис. грн	Амортизація (%)	Амортизація, тис. грн	Витрати на ремонт (%)	Витрати на ремонт, тис. грн	Витрати разом, тис. грн
Машини і обладнання	2000,00	12,0	252,00	5,0	105,00	357,00

Витрати по цій статті на виробництво 1 т продукції складуть:

$$E_1 = 357\ 000 \setminus \text{Норма виробітку (8400 кг)} = 42,50 \text{ грн.}$$

Стаття "Загальновиробничі витрати" приймають на рівні 1,5% від суми статей 3, 4, 5: $422,74 + 92,99 + 42,50 = 558,23$ грн.

Витрати по цій статті складуть: $558,23 * 0,015 = 8,37$ грн.

Стаття "Позавиробничі витрати" витрати по цій статті становлять не менше 3% від виробничої собівартості продукції. Проведено повну калькуляцію виробничої та повної собівартості базового (контрольного) виробу.

Таблиця 5.7. Калькуляція витрат на виробництво 1 т базових батонів

Статті витрат	Сума витрат, грн	Питома вага, %
1. Сировина та основні матеріали	13 054,89	80,72
2. Паливо та електроенергія	2 606,10	16,11
3. Заробітна плата виробничого персоналу	422,74	2,61
4. Нарахування на заробітну плату (22%)	92,99	0,57

5. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	42,50	0,26
6. Загальновиробничі витрати	8,37	0,05
Виробнича собівартість (ВСВ)	16 227,59	-
7. Позавиробничі витрати (3% від ВСВ)	486,83	3,00
Повна собівартість (ПСВ)	16 714,42	100,00

Техніко-економічні показники для базового бетону:

Приймаємо орієнтовну ціну реалізації 1 т базового бетону

$$Ц = 17\,500 \text{ грн. Ціна 1 кг } 17,5 \text{ грн}$$

Прибуток (П):

$$П = Ц - ПСВ$$

$$П = 17\,500,00 - 16\,714,42 = 785,58 \text{ грн.}$$

Витрати на 1 грн виробленої продукції (В):

$$В = ПСВ / Ц = 16\,714,42 / 17\,500,00 = 0,955 \text{ грн.}$$

Рентабельність (Re):

$$Re = (П / СВ) \cdot 100\% = (785,58 / 16\,714,42) \cdot 100 = 4,70\%$$

Проведено аналогічну калькуляцію для бетонів, збагачених залізом.

Таблиця 5.8. Калькуляція витрат на виробництво 1 т бетонів, збагачених залізом

Статті витрат	Сума витрат, грн	Питома вага, %
1. Сировина та основні матеріали (з добавкою)	13 133,02	81,00
2. Паливо та електроенергія	2 606,10	16,08
3. Заробітна плата виробничого персоналу	422,74	2,61
4. Нарахування на заробітну плату	92,99	0,57
5. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	42,50	0,26
6. Загальновиробничі витрати	8,37	0,05
Виробнича собівартість (ВСВ)	16 305,72	-
7. Позавиробничі витрати (3% від ВСВ)	489,17	3,00
Повна собівартість (ПСВ)	16 794,89	100,00

Техніко-економічні показники виробництва збагаченого бетону:

Приймаємо, що ціна реалізації $Ц = 17\,500$ грн (залишається незмінною, оскільки зростання ПСВ мінімальне).

Прибуток (П):

$$П = 17\,500,00 - 16\,794,89 = 705,11 \text{ грн.}$$

Витрати на 1 грн виробленої продукції (В):

$$В = ПСВ / Ц = 16\,794,89 / 17\,500,00 = 0,959 \text{ грн.}$$

Рентабельність (Re):

$$Re = (\Pi \backslash ПСВ) * 100 = (705,11 \backslash 16794,89) * 100 = 4,20\%$$

Висновок

Проведений економічний аналіз демонструє, що при впровадженні у виробництво бетону, збагаченого залізом у формі лактату двовалентного заліза, повна собівартість 1 т цього виробу зростає на 80,47 грн..

Хоча у абсолютних цифрах собівартість зростає, відносна зміна собівартості (зростання на 0,48%) є мінімальною. Зменшення рентабельності з 4,70% до 4,20% не є критичним і може бути компенсоване за рахунок підвищеного попиту на функціональний продукт [21].

Таким чином, економічне обґрунтування підтверджує доцільність впровадження запропонованого удосконалення технології.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У ході виконання магістерської роботи було розроблено та обґрунтовано технологію виробництва збагачених хлібобулочних виробів із застосуванням залізовмісної добавки «Гемовітал».

Проведено аналіз світового досвіду та наукових даних щодо проблеми дефіциту заліза (залізодефіцитної анемії) та методів збагачення харчових продуктів. Обґрунтовано вибір залізовмісної добавки «Гемовітал», як найбільш ефективного та безпечного носія для інтеграції у ХБВ при цьому мінімізуючи вплив на органолептичні показники.

Внесення добавки не вимагає суттєвої зміни базових технологічних параметрів (тривалості бродіння та випікання). Батони, збагачені залізом, відповідають усім вимогам ДСТУ за основними фізико-хімічними та органолептичними показниками (пористість, питомий об'єм, смак, запах, колір).

Проведений економічний аналіз підтвердив, що повна собівартість 1 т збагаченого батону зростає незначно (на 80,47 грн.) порівняно з базовим продуктом. Зниження рентабельності є мінімальним на 0,5 % (базова 4,70% за удосконалення технології – 4,20%) і може бути компенсоване підвищеним попитом на функціональний продукт.

Доведено, що впроваджена технологія є ресурсозберігаючою, оскільки не вимагає нового обладнання і не генерує нових видів промислових відходів. Інтеграція внесення добавки як Критичної контрольної точки (ККТ) у систему НАССР гарантує високу екологічну безпеку та якість продукту.

На основі отриманих результатів та проведеного аналізу для впровадження технології у промислове виробництво рекомендується хлібопекарським підприємствам, що спеціалізуються на випуску масових сортів хлібобулочних виробів, використовувати розроблену технологію збагачення батону для розширення асортименту функціональної продукції.

При застосуванні технології обов'язково використовувати автоматичні високоточні дозатори для внесення робочого розчину залізовмісної добавки, що є

критично важливим для забезпечення рівномірного збагачення та контролю ККТ (Критичної контрольної точки).

Включити до виробничого контролю регулярний лабораторний аналіз готової продукції на фактичний вміст заліза (наприклад, методом спектрофотометрії) для підтвердження заявленого рівня збагачення.

Рекомендувати проведення маркетингової кампанії, сфокусованої на соціальній значущості продукту (боротьба з анемією) та його функціональних властивостях, що дозволить ефективно позиціонувати збагачений батон у вищому ціновому сегменті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Всесвітня організація охорони здоров'я. The Global Prevalence of Anaemia in 2011: Global Anaemia Update : report. Geneva : World Health Organization, 2015. 165 p.
2. World Health Organization. Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva : World Health Organization, 2016. 343 p.
3. Міністерство охорони здоров'я України. Дефіцит заліза: як вчасно розпізнати та подбати про здоров'я? : [Електронний ресурс]. Київ, 2023.
4. Ковальська Л.П. (ред.). Технологія харчових виробництв: основи та принципи : підручник. Київ : НУХТ, 2018. 752 с.
5. Маслова Н.Ф. Перспективність використання сполук тривалентного заліза для лікування залізодефіцитної анемії. Фармацевтичний журнал. 1999. № 5. С. 96–99.
6. Видиборець С.В., Гайдукова С.М. Клінічна класифікація залізодефіцитної анемії. Лікарська справа. 2001. № 5-6. С. 19–23.
7. Гусева С.А., Вознюк В.П., Дубкова А.Г. Анемії: принципи діагностики та лікування : монографія. Київ : Фахівець, 1999. 288 с.
8. Джурик Н.Р., Ковальчук М.П. Нові види хлібобулочних виробів підвищеної біологічної цінності. Хлібопекарное и кондитерское Дело. 2008. № 1. С. 18–19.
9. Домарецький В.А., Остапчук М.В., Українець А.І. Технологія харчових продуктів : підручник. Київ : НУХТ, 2003. 596 с.
10. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва. Київ : Руслана, 1998. 416 с.
11. Дробот В.І. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв : практикум. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 342 с.
12. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва : підручник. Київ : Логос, 2002. 367 с.
13. Дуденко Н.В. Фізіологія харчування : підручник. Харків : НВФ „Студцентр”, 1999. 392 с.

14. Євлаш В.В., Немірич О.В., Віннікова В.О. Технологія хліба, що збагачений на гемове залізо, та оцінка якості. Хлібопекарное и кондитерское Дело. 2008. № 1. С. 48–51.
15. Євлаш В.В. Противоанемическая пищевая добавка Гемовитал в технології пшенично-житнього хліба. Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2005. № 10. С. 9–11.
16. Європейські вимоги до харчових добавок : довідник. Львів : Леонорм, 1997. 126 с.
17. Капрельянц Л.В., Іоргачова К.Г. Функціональні продукти : підручник. Одеса, 2003. 330 с.
18. Карпенко П. Перспективи використання кондитерських виробів з підвищеними біологічними властивостями. Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2007. № 4. С. 9.
19. Петров В.Н. Фізіологія та патологія обміну заліза : монографія. Київ : Наукова думка, 2005. 223 с.
20. Петров К.П. Методи біохімії рослинних продуктів : підручник. Київ : Вища школа, 1978. 408 с.
21. Пономарьов П.Х., Сіроман І.В. Безпека харчових продуктів та харчової сировини : навчальний посібник. Київ : Лібра, 1999. 272 с.
22. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського виробництва : практикум. Київ : Центр навчальної літератури, 2012. 231 с.
23. Сімахіна Г.О., Гулий І.С., Українець А.І. Функціональне харчування у системі відновлення здоров'я та екологічного захисту населення. Наукові праці УДУХТ. 2000. № 16. С. 29–31.
24. Українець А.І., Сімахіна Г.О. Стратегія НУХТ у створенні в Україні індустрії здорового харчування. Наукові праці НУХТ. 2005. № 16. С. 6–10.
25. Міністерство охорони здоров'я України. Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах ті енергії : наказ МОЗ України від 03.09.2017 р. № 1073.

26. Арсенъєва Л.Ю. Наукове обґрунтування та розроблення технології функціональних хлібобулочних виробів з рослинними білками та мікронутрієнтами : дис. ... д-ра техн. наук. Київ, 2007. 325 с.
27. Lynch, S. R. The effect of food fortification on iron nutrition. *Nutrition Reviews*. 2016. Vol. 74, Iss. 12. P. 729–740.
28. Hurrell, R., & Egli, I. Iron bioavailability and dietary inhibitors. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2017. Vol. 71. P. 445–454.
29. Konstantinidou, V., Koukouvinos, N. et al. Iron Deficiency and Iron Deficiency Anemia: A Comprehensive Overview of Established and Emerging Concepts. *Medicina (Kaunas)*. 2025. Vol. 61, Iss. 1. P. 115.
30. Gómez-Ochoa, S. A., Trespalacios-Rangel, J. A. et al. Systematic review on supplementation, fortification, and food-based interventions for preventing iron deficiency anemia. *PMC - PubMed Central*. 2025.
31. Kumar, S. A., & Anukiruthika, T. Performance Factors Influencing Efficacy and Effectiveness of Iron Fortification Programs... *Nutrients*. 2020. Vol. 12, Iss. 10. P. 3088.
32. Shubham, S. et al. Iron deficiency anemia: A comprehensive review on iron absorption, bioavailability and emerging food fortification approaches. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. Vol. 59, Iss. 14. P. 2221–2236.
33. Makinde, A. T., Ayenew, M., et al. Food Fortification to Prevent and Control Iron Deficiency. *ResearchGate*. 2015.
34. García, A., López, R., et al. Optimization of Iron Encapsulation and Stability in Bakery Products. *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 280. P. 110037.
35. Wieringa, F. T. et al. The efficacy of ferric pyrophosphate as an iron fortificant: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2019. Vol. 70, Iss. 8. P. 950–961.
36. Morales, S., & González, F. Impact of different iron fortificants on the rheological properties and quality of wheat bread. *Journal of Cereal Science*. 2021. Vol. 99. P. 103211.
37. Tzounis, X., Kapsokefalou, M. et al. Fortification of Cereal Products: A Review on Technological and Nutritional Aspects. *Foods*. 2020. Vol. 9, Iss. 4. P. 450.

38. Ranganathan, V., et al. Effect of iron supplementation and food fortification on cognitive development in children: a systematic review. *The Lancet Child & Adolescent Health*. 2022. Vol. 6, Iss. 1. P. 50–60.
39. Міжнародний журнал функціонального харчування. Функціональні інгредієнти у хлібопеченні та кондитерському виробництві : зб. наук. пр. Київ : Аграрна наука. 2023. № 2. С. 45–58.
40. Trespalacios-Rangel, J. A., et al. Iron Compounds Used in Food Fortification: Properties, Encapsulation, and Bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022. Vol. 21, Iss. 3. P. 2755–2780.
41. Poutou, G., et al. Nanotechnology in Food Fortification: A Comprehensive Review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 118, Part A. P. 123–135.
42. Олійник І. В. Сучасні методика дослідження якості та безпечності збагаченої харчової сировини. *Продовольча сировина*. 2018. № 4. С. 87–94.
43. Velasco-Morales, J. M., et al. Fortification of staple foods: the Mexican experience with wheat flour and its impact on anaemia reduction. *Public Health Nutrition*. 2018. Vol. 21, Iss. 1. P. 101–109.
44. ДСТУ 7949:2015. Продукти хлібобулочні. Технічні умови. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с.
45. ДСТУ 46.004:2020. Борошно пшеничне. Технічні умови. Київ : УкрНДНЦ, 2020. 16 с.