

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл. лист.	№ екземпл.	Примітка
1	A4	4TX7.2026.181.001.ПЗ	Пояснювальна записка	143		
2	A4		Презентація	15		

					4TX7.2026.181.001.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ Лім. Арк. Аркушів УДУНТ, ННІ УДХТУ факультет Х та ХТ кафедра ТПЖ та ХП		
Розроб.		БІЛОВ Ю.А.					
Перевір.		ГОЛУБ Л.С.					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		ЧЕРВАКОВ О.В.					

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Навчально-науковий інститут
«Український державний хіміко-технологічний університет»
(назва навчально-наукового інституту)
Харчових та хімічних технологій
(повна назва факультету)
Технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

бакалавр
(освітньо- кваліфікаційний рівень)

На тему: Розробка рецептури борошняних виробів з
функціональними добавками

Виконав: студент 4 курсу, групи 4-ТХ-7 напряму
підготовки (спеціальності) 181 Харчові технології
(шифр і назва напряму підготовки (професійна спрямованість), спеціальності)

		Юрій БІЛОВ	
	(Особистий підпис)		(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Керівник		Леся ГОЛУБ	
	(Особистий підпис)		(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)
Рецензент			
	(Особистий підпис)		(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дніпро – 2026 рік

Український державний університет науки і технологій
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут
«Український державний хіміко-технологічний університет»
(назва навчально-наукового інституту)

Факультет, відділення	харчових та хімічних технологій
Кафедра	технології природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції
Освітній рівень	бакалавр
Спеціальність	181 «Харчові технології» (код і назва)
Спеціалізація	Технології хліба, кондитерських, макаронних виробів (шифр і назва)
Освітня програма	та харчоконцентратів Харчові технології (назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТПЖ та ХП,
_____ Олег ЧЕРВАКОВ
« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу

Юрію БІЛОВУ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка рецептури борошняних виробів з функціональними добавками.

Керівник роботи: Леся ГОЛУБ, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 02.03.2026 р. № 77-К

2. Строк подання студентом роботи: « 01 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: науково-технічна література, фахові періодичні видання, ДСТУ, довідники, методичні вказівки до виконання роботи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: вступ, аналітичний огляд, експериментальна частина, обговорення результатів, охорона праці, економічна частина, висновки, перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу: слайди презентації.

6. Консультанти роботи із зазначенням розділів, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Експериментальна частина	Голуб Л. С., доц.		
Охорона праці	Голуб Л. С., доц.		
Економічна частина	Голуб Л. С., доц.		

7. Дата видачі завдання " 15 " січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготовка аналітичного огляду	16.01 – 05.03.2026	виконано
2.	Експериментальна частина	06.03 – 27.03.2026	виконано
3.	Обговорення результатів (теоретична частина)	28.03 – 30.04.2026	виконано
4.	Підготовка розділу «Охорона праці»	01.05 – 07.05.2026	виконано
5.	Підготовка розділу «Охорона навколишнього середовища»	08.05 – 12.05.2026	виконано
6.	Підготовка розділу «Економічна частина»	13.05 – 19.05.2026	виконано
7.	Оформлення ДР та презентації	20.05 – 31.05.2026	виконано

Студент

(Особистий підпис)

Юрій БІЛОВ

(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(Особистий підпис)

Леся ГОЛУБ

(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 143 с., 14 рис., 20 табл., 114 джерел.

Об'єкт дослідження – технологія здобних булочних виробів підвищеної біологічної цінності з використанням функціональних добавок та полікомпонентного оздоблення.

Мета роботи – розробка рецептури пасочної здоби (аналога булки «Травнева») підвищеної біологічної цінності шляхом комплексного моделювання її складу.

Методи дослідження – фізико-хімічні, органолептичні, розрахунково-аналітичні (MS Excel).

Досліджено синергетичний вплив цільнозернового борошна (ЦЗБ), гірчиної олії (ГО) та полікомпонентного міксу зі знежирених насіння й горіхів (ПКМ «5 в 1») на якість готової здоби. Доведено, що часткова заміна пшеничного борошна на ЦЗБ (15 %) та вершкового масла на рідку ГО (15 %) нівелює деструктивний вплив висівок на клейковинний матрикс, забезпечуючи оптимальну пористість (81 %) та високу сенсорну оцінку виробу (4,90 бала).

Використання ПКМ «5 в 1» як функціонально-декоративного оздоблення поверхні (5 % до маси) у поєднанні з ГО дозволяє повністю вилучити з рецептури родзинки та синтетичний ванілін, формуючи оригінальний крафтовий профіль виробу. Взаємодія жирних кислот ГО з крохмалем уповільнює його ретроградацію, що суттєво гальмує черствіння м'якуша під час зберігання.

Комплексна модифікація рецептури забезпечила зростання вмісту білка в здобі на 41,94 % при зниженні вуглеводного навантаження на 9,80 %.

Розроблено виробничі рекомендації, сформовано заходи з охорони праці та розраховано кошторис витрат на проведення досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПАСОЧНА ЗДОБА, ЦІЛЬНОЗЕРНОВЕ БОРОШНО, ГІРЧИЧНА ОЛІЯ, ПОЛІКОМПОНЕНТНИЙ МІКС, ХАРЧОВА ЦІННІСТЬ

					4TX7.2026.181.001.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		БІЛОВ Ю.А.						
Перевір.		ГОЛУБ Л.С.						
Реценз.						УДУНТ, ННІ УДХТУ факультет Х та ХТ кафедра ТПЖ та ХП		
Н. Контр.								
Затверд.		ЧЕРВАКОВ О.В.						

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ....	10
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	16
1.1 Технологічні аспекти застосування нетрадиційних зернових культур у виробництві.....	16
1.1.1 Використання цільозернового борошна та пшеничних висівок у хлібопеченні.....	17
1.1.2 Використання продуктів переробки круп'яних культур у технології борошняних виробів.....	20
1.1.3 Технологічний потенціал зародків зернових культур.....	22
1.1.4 Характеристика та технологічні властивості борошна зернобобових культур.....	23
1.2 Технологічні аспекти використання продуктів переробки олійних культур у хлібопеченні.....	24
1.2.1 Характеристика та технологічні властивості насіння олійних культур.....	24
1.2.2 Нетрадиційні види рослинних олій у технології борошняних виробів.....	26
1.2.3 Продукти переробки насіння олійних культур та іншої сировини природного походження.....	30
1.3 Перспективи використання нетрадиційної рослинної сировини у хлібопеченні.....	31
1.4 Теоретичні аспекти підвищення біологічної цінності здобних виробів.....	34
1.4.1 Наукове обґрунтування вибору рослинної сировини для модифікації рецептури булки «Травнева».....	36
1.4.1.1 Технологічний потенціал цільозернового борошна.....	36

1.4.1.2 Гірчична олія як засіб оптимізації жирнокислотного складу та пролонгації свіжості.....	38
1.4.1.3 Біологічна цінність знежиреного полікомпонентного міксу з насіння та горіхів.....	41
1.5 Висновки.....	43
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	45
2.1 Матеріали і методи досліджень.....	45
2.1.1 Об'єкти дослідження.....	45
2.1.2 Сировина та допоміжні матеріали. Специфічні технологічні функції інгредієнтів.....	46
2.1.3 План дослідження.....	48
2.1.4 Методика приготування тіста та випікання.....	49
2.1.5 Методи дослідження.....	56
2.1.5.1 Визначення показників якості напівфабрикатів.....	56
2.1.5.2 Визначення фізико-хімічних та органолептичних показників якості хлібобулочних виробів.....	60
2.1.6 Статистична обробка результатів.....	70
3 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	71
3.1 Дослідження кінетики бродіння та газоутримувальної здатності здобного тіста композитного складу.....	71
3.2 Оцінка впливу компонентів рецептури на фізико-хімічні показники нових здобних виробів.....	77
3.2.1 Дослідження титрованої кислотності дослідних виробів за використання цільнозернового борошна та гірчичної олії.....	77
3.2.2 Вплив рецептурних інгредієнтів на питомий об'єм нових здобних виробів.....	79
3.2.3 Аналіз пористості м'якуша пасочних виробів композитного складу.....	82
3.2.4 Проведення комплексної оцінки впливу розроблених	

композитних сумішей на якість пасочної здоби.....	84
3.3 Вплив рецептури та умов випікання на усушку. Дослідження критичних термінів збереження структурно-механічних властивостей...	88
3.4 Органолептична оцінка пасочних виробів композитного складу.....	94
3.5 Оцінка харчової та енергетичної цінності розробленої функціональної здоби.....	97
3.6 Рекомендації щодо впровадження розробленого виробу у виробництво.....	100
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	103
4.1 Характеристика приміщення та умов праці.....	103
4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	104
4.2.1 Фізичні небезпечні та шкідливі фактори.....	105
4.2.2 Хімічні небезпечні фактори.....	105
4.2.3 Біологічні шкідливі фактори.....	106
4.3 Інженерні рішення щодо забезпечення безпеки.....	107
4.3.1 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції.....	107
4.3.2 Розрахунок штучного освітлення лабораторії.....	108
4.3.3 Розрахунок захисного заземлення лабораторії.....	110
4.3.3.1 Вихідні дані та геометрія заземлювача.....	110
4.3.3.2 Розрахунок поодинокого вертикального заземлювача.....	111
4.3.3.3 Визначення кількості вертикальних електродів.....	111
4.3.3.4 Розрахунок з'єднувальної горизонтальної штаби та загального опору контуру заземлення.....	112
4.4 Організаційні заходи безпеки та протипожежний захист.....	113
4.4.1 Порядок поводження з хімічними речовинами та відходами.....	113
4.4.2 Засоби індивідуального захисту та особиста гігієна.....	114
4.4.3 Протипожежні заходи та дії в аварійних ситуаціях.....	114
4.5 Висновки до розділу.....	115
5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	117

5.1 Охорона атмосферного повітря.....	117
5.2 Охорона та раціональне використання водних ресурсів.....	118
5.3 Управління відходами.....	118
5.4 Захист від фізичних факторів забруднення.....	119
5.5 Висновки до розділу	120
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	121
6.1 Розрахунок ціни дослідження.....	122
6.2 Висновки до розділу	128
ВИСНОВКИ.....	129
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	131

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

ВМ – вершкове масло

ГДК — гранично допустима концентрація

ГО – нерафінована гірчична олія

ДБН — державні будівельні норми

ДСН — державні санітарні норми

ДСТУ — державний стандарт України

ЄСВ — єдиний соціальний внесок

ЗВО — заклад вищої освіти

ЗІЗ — засоби індивідуального захисту

ЛЗР — легкозаймисті рідини

НДР — науково-дослідна робота

ПБ в/г — пшеничне борошно вищого ґатунку

ПДВ — податок на додану вартість

ПКМ «5 в 1» — полікомпонентний мікс із п'яти видів знежирених насіння (льон, кунжут, гарбуз) та горіхів (кедр, мигдаль)

ПНЖК – поліненасичені жирні кислоти

ПУЕ — правила улаштування електроустановок

ФОП — фонд оплати праці

ЦЗБ — пшеничне цільозернове борошно

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. На сучасному етапі розвитку харчової промисловості одним із пріоритетних напрямів є створення продуктів функціонального призначення, які не лише задовольняють енергетичні потреби організму, а й сприяють зміцненню здоров'я та профілактиці аліментарних захворювань.

Особливе місце в раціоні харчування населення України посідає борошняна продукція, асортимент якої вражає різноманітністю: від класичних сортів хліба до складних здобних виробів, що різняться за рецептурним складом, формою та масою [1].

Експерти галузі прогнозують [2], що майбутня структура ринку хлібопечення в Україні визначатиметься трьома ключовими векторами: багатокомпонентністю рецептур, подовженням термінів збереження свіжості виробів та впровадженням авторських (крафтових) технологій.

Наразі у світі реалізується стратегія створення продуктів здорового харчування. Основний напрям цієї концепції - зниження споживання насичених жирів, цукру та солі з одночасним підвищенням частки харчових волокон, мінералів, вітамінів та антиоксидантів у раціоні.

Серед широкого асортименту хлібобулочних виробів особливе місце посідає кондитерська та булочна здоба, яка завдяки своїм високим органолептичним показникам користується незмінним попитом. Проте традиційні рецептури здобних виробів, таких як булка здобна «Травнева», відрізняються високим вмістом рафінованих вуглеводів та насичених жирів при гострому дефіциті харчових волокон і мікронутрієнтів. Тому актуальним завданням є модернізація класичних рецептур шляхом залучення нетрадиційної рослинної сировини [3–7], здатної покращити нутрієнтний профіль та подовжити термін зберігання свіжості.

Рослинна сировина підвищеної біологічної цінності [8–10] надає виробам адаптогенних, біостимулювальних та антиоксидантних властивостей. Перспективними інгредієнтами є: цільнозернове борошно; безглютенове бобове борошно як джерело повноцінного білка; насіння олійних культур та продукти їх переробки; овочеві й фруктові добавки, а також вторинні продукти переробки рослинної сировини.

Високоякісний борошняний виріб функціонального призначення, повинен забезпечувати енергетичну цінність, мати раціональний склад та високі органолептичні властивості [11].

Перспективним напрямом модернізації технології здоби є комплексне моделювання її складу: від корекції рецептури тіста до функціонального оздоблення поверхні. Використання пшеничного ЦЗБ (джерело вітамінів групи В, мінеральних речовин та дієтичних волокон) та ГО (природний антиоксидант і джерело ПНЖК родини Омега-3 та Омега-6) дозволяє збалансувати внутрішній нутрієнтний профіль виробу, а застосування сучасних оздоблювальних сумішей — покращити зовнішній вигляд та посилити функціональний ефект.

Наукова ідея дослідницької роботи полягає у синергетичному поєднанні модифікованої основи тіста (із залученням ЦЗБ та ГО в композиції жирів) з поверхневим функціонально-декоративним оздобленням знежиреним ПКМ «5 в 1» (льон, кунжут, гарбуз, кедровий горіх, мигдаль). Такий комплексний підхід дозволяє створити продукт із високим вмістом білка, ПНЖК і дієтичних волокон, де оздоблювальний мікс виконує роль додаткового джерела біологічно активних речовин, а модифікована жирова основа забезпечує пролонгацію збереження свіжості м'якуша.

Об'єкт дослідження — технологія здобних булочних виробів підвищеної біологічної цінності з використанням нетрадиційної рослинної сировини (ЦЗБ, ГО) та полікомпонентного оздоблення.

Предмет дослідження — закономірності зміни кінетики бродіння тіста, реологічних, органолептичних та фізико-хімічних показників якості й інтенсивності черствіння готових виробів залежно від концентрації добавок.

Метою дослідження є наукове обґрунтування та розробка рецептури і технології здобних булочних виробів підвищеної біологічної цінності шляхом використання ЦЗБ, ГО та функціонального оздоблення поверхні ПКМ.

Для досягнення мети, яка була поставлена, вирішувалися такі завдання:

- здійснити системний аналіз науково-технічної літератури та фахових періодичних видань щодо сучасного стану ринку, а також перспектив використання функціональних інгредієнтів рослинного походження у технологіях здобних виробів;

- експериментально обґрунтувати раціональне співвідношення ПБ в/г та пшеничного ЦЗБ в композитній суміші на основі дослідження реологічних властивостей тіста;

- дослідити вплив часткової заміни ВМ нерафінованою ГО на кінетику бродіння тіста та інтенсивність черствіння (крихкуватості) м'якуша здоби під час зберігання;

- обґрунтувати доцільність та ефективність застосування готової комерційної композиції знежиреного ПКМ «5 в 1» як функціонально-декоративного оздоблення поверхні розробленої здоби;

- комплексно оцінити вплив розроблених рецептурних рішень на формування органолептичного профілю та основних фізико-хімічних показників готової пасочної здоби (зокрема питомого об'єму, пористості та кислотності м'якуша);

- розрахувати показники харчової та енергетичної цінності розробленого виробу, визначити його нутрієнтну щільність порівняно з традиційним аналогом.

Методи дослідження:

- фізико-хімічні методи: визначення питомого об'єму тіста та виробів, пористості м'якуша та кислотності виробів (титриметричним методом);

- органолептичні методи: оцінка зовнішнього вигляду, стану поверхні, кольору м'якуша, смаку та аромату готових виробів за бальною шкалою;
- розрахунково-аналітичні методи: визначення нутрієнтної щільності та енергетичної цінності за допомогою довідкових таблиць хімічного складу сировини та методу масового балансу;
- методи математичної статистики: обробка експериментальних даних з використанням програмного забезпечення (MS Excel).

Наукова новизна дослідження: На основі аналізу сучасних наукових публікацій та експериментальних досліджень вперше науково обґрунтовано синергетичний ефект сумісного використання пшеничного ЦЗБ (до 20 %) та нерафінованої ГО (до 15 %) в технології дріжджових здобних виробів з високим вмістом жиру та цукру. Доведено, що введення рідкої фази ГО виконує функцію високоефективного пластифікатора для клейковинного матриксу, що повністю нівелює механічну деструктивну дію периферійних висівкових часток цільного зерна на білковий каркас тіста. Отримано нові дані щодо кінетики сповільнення ретроградації крохмалю здобного м'якуша за рахунок утворення комплексів ненасичених жирних кислот ГО з амілозою, що дозволяє стримувати показник крихкуватості на рекордно низькому рівні (до 2,38 %) на 12-ту добу зберігання навіть за умов інтенсивної усушки під час сухого термічного оброблення.

Практичне значення отриманих результатів: Розроблено інноваційну рецептуру та удосконалено технологію пасочної здоби підвищеної біологічної цінності (модифікований аналог булки «Травнева»). Практично доведено можливість зниження доданого цукру на 25 % та повного вилучення внутрішнього наповнення родзинками без погіршення смакового сприйняття виробу за рахунок використання смако-ароматичного потенціалу ГО та поверхневого оздоблення знежиреним ПКМ «5 в 1». Обґрунтовано та сформульовано виробничі рекомендації, що передбачають обов'язковий перехід до формового способу випікання в індивідуальних паперових капсулах для нівелювання плинності високогустого тіста, а також впровадження

оптимального двостадійного температурного режиму без парозволоження пекарської камери (200 °C протягом 10 хв з подальшим допіканням за 180 °C впродовж 13 хв). Впровадження розробленої технології дозволяє отримати продукт функціонального спрямування із подовженим терміном збереження свіжості до 12 діб та покращеним нутрієнтним профілем (збільшення вмісту білка на 41,94 % при зниженні швидких вуглеводів на 9,80 %).

Апробація результатів дослідницької роботи і публікації: Основні результати досліджень доповідалися, обговорювалися і одержали позитивну оцінку на XII Міжнародній науково–практичній інтернет–конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Хімія і сучасні технології», м. Дніпро, 20-22 травня 2026 р. За результатами дослідження опубліковано 1 тези доповідей.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ІНГРЕДІЄНТИ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ БОРОШНЯНИХ ВИРОБІВ

Одним із пріоритетних напрямів удосконалення технології борошняних здобних виробів є підвищення їхньої харчової цінності, розширення асортименту, поліпшення якості та подовження термінів зберігання [12]. Ефективним способом збагачення продукції є використання натуральної сировини, що містить комплекс біологічно активних речовин у найбільш засвоюваній формі.

1.1 Технологічні аспекти застосування нетрадиційних зернових культур у виробництві

Питання підвищення харчової та біологічної цінності продукції з пшеничного борошна, попри численні напрацювання в цьому напрямі, не втрачає своєї актуальності [13]. Це зумовлено особливостями хімічного складу пшениці, а також технологічними циклами переробки зерна та приготування виробів. Зокрема, під час виробництва борошна його харчова цінність істотно знижується: чим вищий сорт борошна, тим меншим є вміст білка та його біологічна повноцінність у готових виробах. Додаткові втрати амінокислот відбуваються безпосередньо у процесі випікання.

Суттєве зниження біологічної цінності білків борошняних виробів [14] спричиняє необхідність коригування їхнього нутрієнтного складу шляхом введення до рецептур нетрадиційної сировини, багатой на вітаміни (групи В, РР, А, Е), макро- та мікроелементи (Р, Mg, К, Fe), антиоксиданти, повноцінні білки та харчові волокна [15]. На сьогодні застосування нетрадиційних зернових

культур у технології хлібопечення реалізується за кількома напрямками: залучення цілого зерна, використання борошна відповідних культур, а також впровадження продуктів переробки зернової сировини (зокрема вторинних ресурсів виробництва).

1.1.1 Використання цільозернового борошна та пшеничних висівок у хлібопеченні

Пшеничне ЦЗБ за своїм хімічним складом максимально наближене до цільного зерна. Під час сортових помелів із зернівки видаляються периферійні частини, що є основним джерелом харчових волокон, білків, мінеральних речовин та вітамінів. Зокрема, у пшеничному ЦЗБ, порівняно з ПБ в/г, вищий вміст білків у $\sim 1,2$ раза, жирів у $\sim 2,3$ раза, клітковини (харчових волокон) - в 3–5 разів, мінеральних речовин (Ca, Mg, Fe) — у $\sim 3,2$ раза, вітаміну В1 (тіаміну) — у ~ 3 рази; а вуглеводів міститься менше в $\sim 1,13$ раза.

Під час очищення ПБ в/г втрачає до 70–80 % вітамінів (В1, В2, В6, Е, РР) та мінералів (Mg, Zn, K). Його енергетична цінність на 10–12 % вища порівняно із ЦЗБ. Водночас вироби з ЦЗБ мають менший питомий об'єм і нижчу пористість, ніж хліб із ПБ в/г. Однією з причин погіршення якості є значна крупність частинок (від 30 до 600 мкм і більше), що пов'язано зі складністю подрібнення міцних оболонок та алеїронового шару зернівки [16].

Тим не менш борошняні вироби із ЦЗБ є цінним елементом раціону завдяки збалансованому хімічному складу і для поліпшення споживчих характеристик готових виробів доцільно використовувати суміші ЦЗБ з іншими видами борошна у раціональних співвідношеннях [17].

Заміна частини сортового ПБ цільозерновим суттєво підвищує нутрієнтну цінність продукції, надаючи виробам функціональних властивостей завдяки високому вмісту клітковини. Водночас зі збільшенням частки ЦЗБ

питомий об'єм виробів зменшується, а вологість та щільність м'якуша зростають. За даними сенсорного аналізу, заміна до 20 % ПБ в/г на ЦЗБ дає змогу отримати продукцію, показники якої близькі до контрольного зразка. Подальше підвищення дозування призводить до погіршення органолептичних характеристик готових виробів [18].

Хліб із ПБ в/г та ЦЗБ сіяного характеризується показниками формостійкості на рівні 0,44 та 0,43 відповідно, тоді як зразки з жорнового борошна мають найнижче значення цього параметра. Це пояснюється тим, що, попри значний вміст клейковини, жорнове борошно містить велику кількість крупних висівкових частинок. Останні механічно порушують цілісність білкового каркаса та знижують газоутримувальну здатність тіста, що зумовлює мінімальний питомий об'єм готової продукції [19].

Авторами [20] розроблено технологію здобних виробів типу «Бріюш» оздоровчого призначення з використанням ЦЗБ та пшеничної рідкої опари «Пуліш». Такий підхід дає змогу поліпшити смакові властивості, інтенсифікувати технологічний процес та сповільнити черствіння готової продукції. Внесення рідкої опари «Пуліш» у кількості 30 % до маси борошна сприяє розвитку клейковинного каркаса, покращує структурно-механічні властивості тіста, активізує дріжджі, а також підвищує кислотність, що позитивно впливає на аромат і смак виробів. Застосування ЦЗБ (20 %, ПБ в/г 80 %) в рецептурі «Бріюш» забезпечує зростання вмісту білка на 6,7 %. Найсуттєвіше збільшення показників спостерігалось для харчових волокон та магнію — на 36,4 % та 78,6 % відповідно порівняно з контролним зразком. Водночас вміст крохмалю знижується на 4,2 %, що сприяє зменшенню енергетичної цінності виробу. Слід відзначити наявність вітаміну Е у розробленому зразку, тоді як у контролі він відсутній.

Під керівництвом В. І. Дробот проведено дослідження хлібопекарських властивостей напівдиких видів пшениці (спельти та полби) і продуктів їх переробки для розширення асортименту виробів функціонального призначення. Зерно спельти перевершує традиційну пшеницю за вмістом білка (на 28 %),

жирів (на 58 %) та мінеральних речовин (на 22 %). Водночас воно містить менше вуглеводів (на 7,6 %), зокрема крохмалю (на 20 %), і характеризується багатим мінеральним складом (K, S, Mg, Zn, Cu, Fe, Se, Mn) та наявністю специфічних мукополісахаридів, що сприяють зміцненню імунітету й зниженню рівня холестерину. Проте низький вміст власних цукрів і недостатня цукроутворювальна здатність борошна (зокрема через низьку активність β -амілази) обмежують життєдіяльність дріжджів під час дозрівання тіста [21]. Через ці особливості хліб зі спельтового борошна зазвичай поступається сортовому пшеничному за питомим об'ємом, пористістю та формостійкістю. Високий вміст харчових волокон у спельтовому ЦЗБ зумовлює його підвищену водопоглинальну здатність. Таке борошно потребує тривалішого замішування для отримання оптимальної консистенції, проте сформоване тісто вирізняється міцністю та стійкістю до механічних впливів.

Доступною сировиною для збагачення хлібобулочних виробів є пшеничні висівки, які містять (%): білки — 16–18, крохмаль — 14–26, клітковину — 5–15, мінеральні речовини — 2–7; а також вітаміни (мг %): РР — 9–14, В1 — 1,0–1,2, Е — 21–33. Білки висівка мають вищу біологічну цінність за амінокислотним складом порівняно з білками ПБ. Висівки вирізняються низькою енергетичною цінністю, сприяють виведенню надлишку холестерину та продуктів метаболізму, знижують рівень глюкози в крові й забезпечують тривале відчуття насичення, що запобігає надмірному споживанню висококалорійної їжі. Науковцями [22] розроблено оптимальну рецептуру хлібобулочних виробів, збагачених цим функціональним інгредієнтом.

Встановлено, що за заміни 5–15 % ПБ першого гатунку пшеничними висівками тісто та готові вироби характеризуються вищою масовою часткою вологи. Це зумовлено значною водопоглинальною та водоутримувальною здатністю висівкових частинок. Кислотність напівфабрикатів і готової продукції також дещо зростає, що пояснюється власними біохімічними властивостями сировини. Запропоноване дозування пшеничних висівків спричиняє незначне зниження питомого об'єму та пористості виробів, що,

імовірно, пов'язано з послабленням газотримувальної здатності тіста через механічну деструкцію клейковинного каркаса.

1.1.2 Використання продуктів переробки круп'яних культур у технології борошняних виробів

Залучення до рецептур хлібобулочних виробів борошна круп'яних культур (від 10 до 40 % до маси борошна) надає виробам дієтичних та оздоровчих властивостей. Продукти переробки гречки, вівса, рису та ячменю поліпшують смакові характеристики виробів, проте потребують корегування технологічних параметрів через суттєвий вплив на структурно-механічні властивості тіста [15, 23–25].

Гречане борошно, порівняно з пшеничним, вирізняється підвищеним вмістом К, Мп, Сц, Zn, Р, вітамінів В1, В2, В6, РР та рутину. Крім того, воно багате на незамінні амінокислоти, зокрема лізин та аргінін, частка яких становить 7,9 % та 12,7 % відповідно. У складі гречаного борошна міститься на 47,6 % більше вітаміну РР та на 60 % — вітаміну В2, ніж у пшеничному. Серед макроелементів суттєво переважає кількість К, Mg та Р; серед мікроелементів — Cr (на 60 % більше), Fe, Zn та Cu (на 65–70 % більше) [26–27].

Внесення продуктів переробки гречки (борошно та пластівці, 15 % до маси ЦЗБ) спричиняє незначне зниження структурно-механічних властивостей тіста, пористості м'якуша та об'єму виробів на основі ЦЗБ, проте суттєво поліпшує їхні смако-ароматичні властивості [28].

Перевагою використання борошна зеленої гречки у хлібопеченні є його багатий хімічний склад. Порівняно з ПБ, воно містить на 18,5 % більше білка з повноцінним набором амінокислот та на 21,8 % менше крохмалю. Рівень харчових волокон у гречаній сировині вищий на 60 %: розчинна фракція (включаючи β -глюкани) становить 5–7 %, а нерозчинна — 3–4 % [29].

Рис належить до найпоширеніших зернових культур. Його зерно містить 75–79 % крохмалю, 6,5–9,0 % білка (у деяких видів — до 12–15 %), 0,2–2,0 % жиру, 0,2–1,0 % сирової клітковини та 0,4–1,5 % золи [30]. Попри менший загальний вміст білка порівняно з ПБ, рисовий білок є повноціннішим завдяки вищому вмісту лізину — лімітуючої амінокислоти для злакових. Амінокислотний скор рисового борошна становить 0,63, тоді як пшеничного — лише 0,41.

Рисове борошно характеризується низьким вмістом власних цукрів та меншою цукроутворювальною здатністю порівняно з пшеничним [31]. Додавання його суттєво впливає на зовнішній вигляд, текстуру та еластичність хліба [32–33]. Через відсутність глютену (клейковини) у рисовому борошні не формується білковий каркас, що обмежує здатність тіста утримувати вуглекислий газ.

Хліб із чистого рисового борошна має специфічні технологічні особливості: він інтенсивно втрачає вологу, має невеликий питомий об'єм, липку консистенцію м'якуша та схильність до розтріскування скоринки. Під час замішування таке тісто гірше поглинає воду, а готовий виріб швидко черствіє [34]. Проте додавання рисового борошна до пшеничного хліба знижує загальний вміст глютену, що дозволяє отримати м'якшу текстуру та полегшує процес розпушування [35].

Науковцями [31] досліджено вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість пшеничних виробів із додаванням лецитину. Встановлено, що використання рисової сировини призводить до зниження газотримувальної здатності тіста на 3,7–20,4 %, що зумовлено послабленням глютенного каркаса ПБ. Водночас підвищується в'язкість тістової системи на 3,7–18,5 % внаслідок зростання її водопоглинальної здатності. У готових виробах зафіксовано зменшення питомого об'єму та пористості м'якуша. Раціональне дозування рисового борошна як замітника пшеничного має становити не більше 20 %.

Овес є універсальною функціональною культурою з широким спектром біологічно активних компонентів: ліпіди, вуглеводи, білки, мінерали, вітаміни, а також унікальний полісахарид — β -глюкан [36]. Овес вирізняється вмістом понад 20 унікальних поліфенолів (зокрема авенантрамідів), які мають потужні антиоксидантні, протизапальні, антипроліферативні та протисвербіжні властивості. Багатогранний склад цих сполук робить овес перспективною сировиною для розробки функціональних продуктів харчування.

Вівсяне борошно не містить глютену, проте є цінним джерелом ліпідів та харчових волокон. Зокрема, β -глюкани вівса сприяють зниженню рівня холестерину та глюкози в крові. Відсутність клейковинних білків та специфічний склад клітковини обмежують самостійне використання вівсяного борошна, оскільки вироби зі 100 % вівса мають незадовільний об'єм та щільну текстуру. Однак застосування традиційних технологій із заміною до 30 % ПБ вівсяним дозволяє отримати борошняний виріб із високими органолептичними показниками, прийнятними для споживачів [37].

Порівняно з пшеничним, ячмінне борошно містить більше К, Са та Mg, а його білки характеризуються вищим амінокислотним скором за лізином [38–39]. Хліб із додаванням ячмінної сировини має приємний смак із легким горіховим ароматом, проте вирізняється темним кольором м'якуша, схильністю до сильного кришення та швидким черствінням. З огляду на ці особливості, ячмінне борошно використовують у хлібопеченні переважно як добавку в кількості не більше 30 % до маси ПБ.

1.1.3 Технологічний потенціал зародків зернових культур

Перспективною збагачувальною сировиною є продукти переробки зернових культур, зокрема їхні зародки [40–41]. Використання пластівців та борошна з пророщеного зерна дозволяє активувати його біологічний потенціал,

значно підвищуючи вміст вітамінів, ферментів та мінеральних речовин у готовому продукті.

1.1.4 Характеристика та технологічні властивості борошна зернобобових культур

Суттєвим недоліком традиційних хлібобулочних виробів є низький вміст у ПБ незамінної амінокислоти — лізину [42]. Підвищити його концентрацію можна додаванням зернобобового борошна (культури: нут, сочевиця, люпин, горох, квасоля тощо), багатого на цей нутрієнт [43]. Використання такого борошна дозволяє значно підвищити рівень білка, збалансувати його амінокислотний склад та знизити глікемічний індекс хліба [44]. Оскільки білки є основним структурним компонентом клітин організму, а добова потреба в них становить 50–100 г (частка рослинних білків ~ 50 %), збагачення хлібобулочних виробів зернобобовими є фізіологічно доцільним.

На практиці зернобобові культури вводять до рецептур хлібобулочних виробів переважно через їхні технологічно-функціональні властивості, а не лише для підвищення харчової цінності [45–47]. Оскільки додавання такої сировини послаблює клейковинний каркас, її дозування зазвичай обмежене 10–20 % від загальної маси борошна. Таке співвідношення дозволяє зберегти питомий об'єм і пористість м'якуша, водночас значно підвищуючи нутрієнтну щільність готового продукту.

1.2 Технологічні аспекти використання продуктів переробки олійних культур у хлібопеченні

Жири є важливою складовою рецептурної сировини для виробництва борошняних здобних та кондитерських виробів. Вони підвищують харчову цінність і покращують органолептичні показники продукції, а також суттєво впливають на процеси набухання колоїдів борошна, формування структури та реологічні властивості тіста. Технологічна ефективність жирів залежить від їхнього хімічного складу, дозування та способу внесення під час замішування.

1.2.1 Характеристика та технологічні властивості насіння олійних культур

Використання насіння олійних культур у хлібопеченні є ефективним способом підвищення харчової цінності та покращення органолептичних показників продукції. Традиційно насіння маку, льону та кунжуту застосовують для оздоблення поверхні, що надає виробам привабливого вигляду та специфічного аромату. Введення насіння безпосередньо в тісто або його використання як посипки дозволяє збагатити вироби незамінними жирними кислотами, вітамінами та мінеральними речовинами.

Результати досліджень щодо використання насіння льону, чіа, соняшнику, гарбуза, кунжуту та маку у виробництві хлібобулочних виробів систематизовано в огляді [48]. У роботі висвітлено вплив цієї сировини на фізико-хімічні та реологічні властивості хліба залежно від дозування, походження та способу внесення (у цілісному, подрібненому вигляді, у формі олії чи слизу). Встановлено, що додавання олійного насіння покращує нутрієнтний профіль як традиційних, так і безглютенових виробів, забезпечуючи їхні функціональні властивості.

Досліджуване насіння характеризується високим вмістом жиру, що зазвичай перевищує 40 % (41,6–49,8 г), за винятком насіння чіа та гарбуза, де цей показник є дещо нижчим (30,7 г та 19,4 г). Ліпідна фракція цієї сировини вирізняється низькою часткою насичених жирних кислот (3,3–5,2 г) та високим вмістом біологічно активних компонентів: олеїнової кислоти (насіння кунжуту – 18,8 г), лінолевої (ω –6) (насіння соняшнику, кунжуту та маку – 32,8, 21,8 та 28,3 г відповідно) та ліноленової (ω –3) (насіння льону та чіа – 22,8 та 17,8 г). У насінні гарбуза, окрім домінування лінолевої кислоти (8,8 г), також зафіксовано значний вміст олеїнової.

Насіння олійних культур характеризується значним вмістом білка (15–20 %) та вищою концентрацією харчових волокон, ніж у зернових; зокрема, у насінні льону та чіа частка клітковини (27,3 та 34,4 г) перевищує 25 %. Використання цього насіння (цільного або подрібненого) для збагачення хлібобулочних виробів дозволяє суттєво підвищити вміст білків, мінеральних речовин, поліненасичених жирних кислот (Омега–3 та Омега–6), а також покращити загальний нутрієнтний склад готової продукції.

Внесення насіння олійних культур трансформує реологічні властивості тіста, питомий об'єм та текстуру готових виробів, що безпосередньо впливає на їхні органолептичні показники та споживчу прийнятність. Характер цих змін залежить від виду обраної сировини та способу її підготовки. Встановлено, що вплив на реологію тіста є більш вираженим при використанні борошна з олійних культур, ніж цільного насіння. Проте ці зміни залишаються незначними, якщо частка такого борошна в рецептурі не перевищує 5 %.

Використання цілісного насіння справляє незначний вплив на питомий об'єм хліба, оскільки в такому вигляді його компоненти обмежено взаємодіють із білково-вуглеводним комплексом ПБ. Загалом додавання насіння олійних культур у немеленому вигляді меншою мірою впливає на об'ємні показники виробів, ніж внесення відповідного олійного борошна (шроту).

Дослідженнями [49] встановлено, що технологічно доцільне дозування подрібненого насіння золотистого льону в рецептурі пшеничного хліба

становить до 20 %, а цілісного — до 15 % до маси борошна. За такого співвідношення компонентів отримують вироби з розвиненою пористістю, приємним горіховим присмаком та характерним світло-жовтим забарвленням м'якуша. Загалом споживча прийнятність хліба залишається високою за умови внесення насіння олійних культур або продуктів їхнього подрібнення в межах 10–15 %.

1.2.2 Нетрадиційні види рослинних олій у технології борошняних виробів

Рідкі рослинні олії є доступною та економічно вигідною сировиною, яка, на відміну від твердих жирів, містить мінімальну кількість насичених жирних кислот і практично не містить транс-ізомерів [50–52]. Завдяки високій концентрації есенціальних ПНЖК, токоферолів, фосфоліпідів та каротиноїдів, рослинні олії мають значну біологічну цінність. Найціннішими для організму людини є нерафіновані олії, тоді як рафіновані, хоч і мають вищу стійкість під час зберігання, є збідненими на вітаміни та ПНЖК.

Жирнокислотний склад 23 видів рослинних олій детально досліджено у праці [53]. У рідких оліях частка ненасичених жирних кислот значно перевищує вміст насичених і становить 80–90 % від загального складу. Особливий науковий інтерес становлять незамінні жирні кислоти, які не синтезуються в організмі людини: ліолева ($C_{18:2} \omega-6$), α -ліноленова ($C_{18:3} \omega-3$) та γ -ліноленова ($C_{18:3} \omega-3$) [54]. Встановлено, що ліолева кислота ($C_{18:2}$) практично відсутня в тропічних жирах (кокосовому, пальмовому), а в арахісовій олії міститься в незначних кількостях. Натомість найвищий вміст α -ліноленової кислоти зафіксовано в лляній олії (55,53 %). Значна концентрація ліноленової кислоти також притаманна рижівій, ріпаковій та гірчичній оліям, що зумовлено спільним походженням цих культур із родини Капустяних

(Brassicaceae). γ -Ліноленову кислоту виявлено лише в кедровій (18,81 %) та конопляній (2,57 %) оліях.

Використання рослинних олій забезпечує м'яку консистенцію та ніжний смак виробів, підвищує еластичність тіста та полегшує його механічну обробку. Олія надає скоринці привабливого блиску, а завдяки вмісту ПНЖК суттєво підвищує нутрієнтну щільність продукту. Застосування олій першого пресування (нерафінованих) може надавати виробам специфічного забарвлення та вираженого аромату, що є характерною ознакою функціональних продуктів.

Заміна традиційних твердих жирів (маргарину, ВМ) на рослинні олії (оливкову, соняшникову, лляну) або їхні композиції дозволяє збалансувати жирнокислотний склад, збільшити вміст вітамінів та покращити засвоюваність продукції. Такий підхід повністю відповідає сучасним тенденціям здорового харчування та вимогам до дієтичних виробів.

У технології виробництва пісочного печива дозування жиру становить від 5 % до 25 % до маси борошна (залежно від сорту), причому традиційно основною сировиною є ВМ. На сьогодні розроблено широкий асортимент печива з частковою або повною заміною твердих жирів на рідкі рослинні олії [55]. Зокрема, досліджено ефективність використання: лляної (75 % від загальної кількості жиру), гарбузової, арахісової, ріпакової та виноградної олій, а також олій із насіння розторопші плямистої, обліпихи, конопель та рижію. Також апробовано застосування кукурудзяної рафінованої дезодорованої та оливкової олій, їхніх сумішей (кукурудзяно-оливкової, соняшnikово-оливкової) та композицій соняшnikової олії з олією волоського горіха (30 % до маси ВМ), а також гідрогенізованої соєвої олії та каноли.

У наукових працях [55–56] представлено порівняльний аналіз хімічного складу ВМ, гарбузової олії та олії волоського горіха. Рослинні олії на 94–96 % складаються із суміші тригліцеридів вищих жирних кислот. Решту становлять жироподібні речовини (фосфоліпіди, стерини, вітаміни), вільні жирні кислоти та інші супутні сполуки.

За вмістом ненасичених жирних кислот рослинні олії суттєво перевершують ВМ. Відомо, що найвищу стійкість до окиснення мають олії з високою концентрацією пальмітинової та олеїнової кислот. Зокрема, у гарбузовій олії міститься в 1,5 раза більше олеїнової кислоти порівняно з ВМ, а загальна масова частка ненасичених жирних кислот становить 81,8 %. Вміст ПНЖК в оліях волоського горіха та гарбузовій у 75 та 53 рази перевищує аналогічний показник для ВМ, а домінуючої лінолевої кислоти — у 61 та 56 разів відповідно.

Харчова цінність рослинних олій визначається кількістю та співвідношенням лінолевої ($C_{18:2}$, $\omega-6$) і ліноленової ($C_{18:3}$, $\omega-3$) кислот. Згідно з науковими рекомендаціями, оптимальне співвідношення $\omega-6 : \omega-3$ у раціоні має становити $(9-10) : 1$, а за умови порушення ліпідного обміну — $5 : 1$ або навіть $3 : 1$. Водночас у більшості тваринних жирів цей показник є незбалансованим і часто перевищує $(20-30) : 1$.

Есенціальні $\omega-6$ та $\omega-3$ ПНЖК не синтезуються в організмі людини і мають надходити виключно з їжею. Комплекс ПНЖК, що міститься в рослинних оліях, позитивно впливає на функціонування серцево-судинної, травної, ендокринної та нервової систем. Зокрема, ці сполуки оптимізують ліпідний обмін, сприяють виведенню токсинів і канцерогенів, зміцнюють імунітет та підтримують гормональний баланс організму.

В рецептурах пісочного печива досліджено вплив заміни ВМ на олію волоського горіха, гарбузову олію в межах 10-30 % на органолептичні показники готових виробів [55]. Науково обґрунтовано доцільність заміни 20 % ВМ: це забезпечило розсипчасту консистенцію, приємне забарвлення, ніжний смак і аромат, характерний для відповідної сировини.

Як жирову добавку в хлібопеченні пропонують використовувати композиції рослинних олій, зокрема соняшnikової, соєвої, пальмової та ріпакової. Розроблено жировий компонент, що є сумішшю ріпакової, соняшnikової та пальмової олій у співвідношенні 50:40:10 [15]. Перевагою

такої композиції є збалансований вміст незамінних лінолевої та ліноленової кислот.

Дослідженнями [57] встановлено, що часткова заміна соняшникової олії (булочка «Малютко») на лляну (булочка «Ляна») у рецептурах здобних виробів забезпечила зростання частки ненасичених жирних кислот при одночасному зниженні вмісту насичених. Споживання 100 г збагаченого виробу задовольняє добову потребу організму в олеїновій кислоті на 41,98 %, лінолевій — на 49,77 %, ліноленовій — на 49,6 %, а у вітаміні Е — на 24,9 %.

Досвід застосування рослинних олій із нетрадиційної сировини та їхніх композицій у технології борошняних кондитерських виробів систематизовано в огляді [58]. Пріоритетним напрямом сучасних досліджень є розробка купажів олій (зокрема із зародків пшениці, плодів шипшини та рижію) з оптимізованим жирнокислотним складом. Впровадження таких купажів дозволяє розширити асортимент продукції, збагатити її жиророзчинними вітамінами, антиоксидантами, а також збалансувати вміст ПНЖК родин ω -6 та ω -3. Згідно з рекомендаціями ВООЗ, для підтримки здоров'я добове споживання ω -6 має становити близько 7 г, а ω -3 — 2 г, що відповідає оптимальному фізіологічному співвідношенню.

У дослідженні [59] проаналізовано вплив олії плодів шипшини на показники якості житньо-пшеничного хліба, активність бродильної мікрофлори та формування структури тіста. Встановлено, що внесення цієї добавки в кількості 3–5 % до маси борошна дозволяє підвищити пористість, питомий об'єм та формостійкість готових виробів на 8,3–16,7 %, 15,0–30,0 % та 9,3–16,3 % відповідно. Покращення якості продукції зумовлене активацією мікрофлори тіста, зокрема інтенсифікацією розвитку молочнокислих бактерій та підвищенням підйімальної сили дріжджів. Це сприяє прискоренню накопичення кислот (на 11,9–20,0 %), що позитивно впливає на газоутворювальну здатність тіста та органолептичні показники хліба.

Нішеві (малопоширені) рослинні олії [60] мають високу конкурентоспроможність завдяки унікальному хімічному складу: вмісту

Омега–3 та Омега–6 жирних кислот, антиоксидантів, сквалену та флавоноїдів. Це зумовлює високу привабливість такої продукції, особливо в сегменті функціонального та здорового харчування.

Вплив олій на якість хліба суттєво залежить від їхнього дозування та виду. У помірній кількості внесення олій може позитивно впливати на властивості напівфабрикатів, проте надлишковий вміст жирів призводить до послаблення клейковинного каркаса тіста та зниження питомого об'єму готових виробів [48].

1.2.3 Продукти переробки насіння олійних культур та іншої сировини природного походження

У технологіях борошняних виробів активно впроваджують вторинні продукти переробки олієвмісних і зернових культур, зокрема шроти та макуху [60–64]. Висока концентрація білка (до 45 %), вітамінів і мінералів робить таку сировину перспективною для виробництва продуктів функціонального та профілактичного спрямування [65].

Відомо, що вуглеводи ПБ представлені переважно крохмалем, а вміст харчових волокон, залежно від сорту, становить 3,5–9,3 % [66]. Натомість шроти рослинних культур містять 26–39 % загальних вуглеводів, більшість яких — це клітковина: у шроті насіння льону її вміст сягає 35 %, соняшнику — 32 %, кунжуту — майже 19 %. Використання у технології хлібобулочних виробів шротів ріжю, гірчиці та конопель (до 10 %) [67], кунжуту та гарбуза [68], кедрового та волоського горіхів (5,0–20,0 % до маси борошна) [69–70], а також плодів шипшини (2–6 %) [71] дає змогу отримати нові оригінальні продукти з покращеним нутрієнтним складом і вираженими функціональними властивостями.

Джерелом функціональних макро- та мікроелементів, необхідних для підтримки оптимального стану здоров'я, є макухи та шроти з насіння винограду різних сортів, а також ядер кісточкових плодів: абрикоса, персика, сливи та вишні. Ця сировина може бути використана як збагачувальний інгредієнт у технології хлібобулочних виробів [72].

1.3 Перспективи використання нетрадиційної рослинної сировини у хлібопеченні

Під нетрадиційною рослинною сировиною розуміють інгредієнти, що зазвичай не входять до складу традиційних виробів. У хлібопеченні це переважно овочі, фрукти, ягоди, продукти їхнього перероблення, а також вторинні ресурси зернопереробної та олійно-жирової галузей [73].

Доступною локальною сировиною з високою біологічною цінністю, придатною для комплексної переробки, є коренеплоди (буряк, морква, селера, пастернак) та плоди дикорослих рослин (калина, бузина, обліпиха, горобина) [74]. Для створення хлібобулочних виробів підвищеної харчової та біологічної цінності перспективним є використання напівфабрикатів на їхній основі: порошків, пюре, концентратів, паст, соків та екстрактів [8, 70, 75–77].

Останніми роками в Україні та за кордоном проводяться масштабні дослідження щодо застосування у хлібопекарському виробництві порошків з овочів, фруктів та ягід. З технологічної точки зору ці напівфабрикати є найбільш зручними: вони не потребують складної попередньої підготовки, мають тривалий термін зберігання та не ускладнюють технологічний процес. Зазначені добавки використовують переважно у виробництві продукції із сортового ПБ. Їхнє введення позитивно впливає на реологічні властивості тіста, параметри технологічного процесу та якість готових виробів [7].

Збагачення продуктів рослинними порошками підвищує вміст харчових волокон і вітамінів, знижує калорійність та надає виробам функціональних властивостей. Крім того, наявність у складі деяких овочевих та ягідних порошоків барвних речовин дозволяє використовувати їх як натуральні барвники, а вміст поліфенолів та харчових волокон сприяє подовженню терміну свіжості готової продукції [78].

Науково обґрунтовано [79] доцільність використання каротиновмісних овочевих порошоків у технології булочних виробів для поліпшення їхніх споживчих властивостей. Встановлено, що додавання порошку з гарбуза (у кількості 3, 6 та 9 % до маси борошна) позитивно впливає на фізико-хімічні показники якості, забарвлення скоринки, еластичність м'якуша, а також формує оригінальний смак та аромат. Визначено [80], що оптимальним є внесення гарбузового або соєво-морквяного порошоків у дозуванні 5 % до маси борошна.

Запропоновано спосіб виготовлення кексів із використанням фруктових та овочевих порошоків, отриманих із вичавків соків прямого віджимання [81]. Хліб, збагачений порошком із вичавків калини, характеризується збільшеним об'ємом та розвиненою пористістю; при цьому органолептичні показники готових виробів не погіршуються, а навпаки — збагачуються приємним ягідним присмаком. Додавання порошку шовковиці (1,5 % до маси ПБ) не погіршує хлібопекарські властивості останнього.

Науково обґрунтовано [82] вплив композиції фруктових і овочевих порошоків та подрібненого насіння льону на технологічний процес, показники якості й харчову цінність крафтового хліба. Встановлено, що ця суміш сприяє подовженню терміну свіжості виробів. Пористість та вологість м'якуша змінюються відповідно до співвідношення внесених інгредієнтів. Готова продукція характеризується привабливим зовнішнім виглядом та гармонійним смаком.

У роботі Шевченка А. О. [83] досліджено комплексний вплив фруктози та порошку топінамбура на мікробіологічні й біохімічні процеси в тісті під час виготовлення хлібобулочних виробів. Встановлено, що порошок топінамбура

містить у 4 рази більше харчових волокон, ніж ПБ в/г. Із них інулін становить 77 %, що суттєво підвищує харчову цінність виробів на фруктозі. Внесення порошку топінамбура стимулює бродильну активність мікрофлори, що зумовлює інтенсивніше накопичення цукрів у тісті (на 3,0–3,5 %).

Останнім часом науковці розробляють рецептури та вдосконалюють технології хлібобулочних виробів, збагачених порошками з плодів дикорослих культур (горобини, обліпихи, шипшини, глоду), а також порошками з ягід ожини та їхнього насіння. Зокрема, у виробництві здобних булочок як добавку використано обліпиховий порошок (оптимальне дозування — 5 % до маси борошна) [84]. Подальше збільшення його кількості призводить до зростання кислотності та вологості готових виробів. Наявність у порошку антиоксидантів уповільнює окисні процеси під час випікання та зберігання продукції, що дає змогу подовжити термін свіжості здобних булочок до 5 діб.

Додавання 5 % порошку шипшини або композиції з горобиною (в межах 1–3 % до маси борошна) дозволяє не лише збагатити вироби нутрієнтами, а й прискорити технологічні процеси під час визрівання тіста [85].

Використання порошку шипшини (20 % до маси ПБ в/г) [86] сприяє збільшенню пористості м'якуша, а готові вироби (пончики) характеризуються високими споживчими властивостями.

Для зниження енергетичної цінності хлібобулочних виробів пропонують застосовувати овочеві пюре (із кабачків, ріпи, турнепсу, картоплі) та фруктові наповнювачі (з бананів, гуави, манго, абрикосів). Основним недоліком використання форми пюре є складність зберігання, дозування та транспортування. Через високий вміст вологи кількість пюре та паст, які вводять у рецептуру, зазвичай у 5–7 разів перевищує аналогічну кількість сухих порошоків.

Для збагачення печива найчастіше рекомендують використовувати у формі пюре буряк, моркву та гарбуз [70]. Розроблено пропозиції щодо застосування такого пюре (10–15 %) в технології пісочного печива з одночасним зменшенням рецептурного вмісту цукру та жиру. У виробництві

здобного пісочного печива доцільно вносити гідролізоване морквяне пюре (до 10 % до маси меланжу), пюре із сирії або вареної моркви (19 % до маси тіста), а також каротиновмісний збагачувач «Морквяний мед» (11 % до маси тіста). При виготовленні вівсяного печива пропонують додавати морквяне (9 % до маси готового виробу) та гарбузове (до 40 % до маси борошна) пюре.

Досліджено [87] можливість використання гарбузових напівфабрикатів (пюре та соку) для збагачення пшеничного хліба пектиновими речовинами й вітамінами (зокрема β -каротином та вітаміном С).

Оптимальні органолептичні та фізико-хімічні показники якості булочок, до рецептури яких окрім основної сировини (ПБ п/г, дріжджі, сіль, ВМ, цукор) вводили пюре з ревеню, досягаються за умови внесення 20 % добавки до маси борошна [88]. Такі вироби вирізняються стабільною формою, пружним м'якушем із рівномірною дрібною пористістю, а також гармонійним поєднанням смаку та аромату.

Науковцями [89] розроблено рецептуру пшеничної булочки без тваринних жирів з додаванням пюре авокадо (12 % до маси борошна). При цьому її органолептичні та фізико-хімічні показники якості не погіршуються.

Для інтенсифікації мікробіологічних процесів у тісті доцільно застосовувати екстракти плодів шипшини на водній (30 %) або сироватковій (15 %) основі [85]. Присутність біологічно активних компонентів шипшини стимулює життєдіяльність бродильної мікрофлори, що дозволяє суттєво прискорити технологічний процес.

1.4 Теоретичні аспекти підвищення біологічної цінності здобних виробів

Класифікація борошняних виробів як здобних, відповідно до чинних стандартів, базується на рецептурному вмісті цукру та жирів, сума яких має перевищувати 14 % до маси борошна [90]. Найбільш розповсюдженим

представником цієї групи є асортимент булочної здоби, що вирізняється різноманітністю форм та оздоблення.

Для традиційної здоби характерною є диспропорція між високою калорійністю та недостатнім вмістом біологічно цінних нутрієнтів. За своїми характеристиками такі вироби наближаються до кондитерської групи.

Як базовий об'єкт для модифікації нами було обрано булку здобну «Травнева» [91]. Даний вибір зумовлений її високим статусом у споживчому сегменті та багатим рецептурним складом (значний вміст ВМ, цукру та родзинок) (табл. 1.1), що за структурою наближає її до кексових виробів, проте базується на дріжджовій технології.

Таблиця 1.1 — Рецептурний склад булочної здоби «Травнева»

Найменування сировини	Витрата сировини на 100 кг борошна, кг
Борошно пшеничне першого гатунку	100,0
Дріжджі пресовані	4,0
Сіль	0,5
Масло вершкове	20,0
Цукор	20,0
Родзинки	30,0
Яйця, шт./кг	25/1,0
Ванілін	0,067
Масло рослинне для змащування листів	0,15
Всього сировини	176,717

Попри високі смакові якості, класична рецептура здоби «Травнева» має певні технологічні та нутрієнтні недоліки, які ми пропонуємо усунути шляхом наступних модифікацій:

1. Корекція вуглеводного профілю: Повне вилучення родзинок та зниження вмісту доданого цукру (з 20 % до 15 % до маси борошна). Це дозволяє суттєво знизити глікемічний індекс виробу та калорійність, уникаючи надмірного перевантаження «швидкими» вуглеводами.

2. Заміна жирового компонента: Часткова заміна ВМ на нерафіновану ГО для збагачення продукту ПНЖК та вітаміном Е.

3. Функціональне збагачення: Використання ЦЗБ замість частини сортового та застосування полікомпонентного оздоблення (знежирений ПКМ насіння та горіхів «5 в 1») замість традиційного внутрішнього наповнення родзинками.

4. Ароматична автентичність: Свідома відмова від синтетичного ваніліну на користь природного аромату цільного зерна та горіхових нот ГО, що сприяє чистішій органолептичній ідентифікації продукту.

Таким чином, у нашому дослідженні модифікована рецептура здоби «Травнева» виступає як контрольний зразок № 1к (в оригінальному виконанні) та стає фундаментом для розробки серії дослідних зразків з варіативним вмістом ЦЗБ та ГО.

1.4.1 Наукове обґрунтування вибору рослинної сировини для модифікації рецептури здоби «Травнева»

1.4.1.1 Технологічний потенціал цільнозернового борошна

Оскільки детальну характеристику ПБ наведено у підрозділі 1.1.1, доцільно акцентувати увагу на ключових відмінностях у властивостях ПБ вищого та першого ґатунків порівняно з ЦЗБ. Основні розбіжності полягають у ступені виходу борошна та його хімічному складі.

ПБ в/г виготовляється виключно з внутрішньої частини зерна (ендосперму). Це продукт із мінімальним вмістом периферійних частинок, що характеризується високою концентрацією крохмалю та якісною клейковиною, проте майже не містить вітамінів і харчових волокон. Вироби з нього мають максимальний питомий об'єм, дрібну тонкостінну пористість та низьку біологічну цінність.

ПБ першого ґатунку також складається переважно з ендосперму, проте містить до 3–4 % подрібнених оболонок зерна. Воно характеризується високим

вмістом білків і крохмалю при незначній кількості мікронутрієнтів. Тісто з такого борошна має добру еластичність, що забезпечує отримання виробів із розвиненою пористістю та м'яким м'якушем.

ЦЗБ являє собою продукт подрібнення всього зерна, включаючи оболонки, зародок та ендосперм, що забезпечує високий вміст функціональних інгредієнтів [92]. ЦЗБ є природним джерелом харчових волокон, вітамінів групи В та мінеральних речовин. Вміст клітковини у ньому в 3–5 разів вищий, ніж у ПБ в/г. Харчові волокна сповільнюють гідроліз крохмалю, що сприяє підтримці стабільного рівня глюкози в крові та забезпечує тривале відчуття насичення. Концентрація вітамінів (В1, В2, РР, Е) зростає у 3–5 разів, а високий вміст магнію, заліза та фосфору надає виробам функціональних властивостей.

Водночас використання ЦЗБ має певні технологічні особливості: тісто стає щільнішим і менш еластичним, знижується питомий об'єм готової продукції, а смаковий профіль набуває виражених зернових або горіхових нот. Нівелювання цих недоліків потребує адаптації параметрів технологічного процесу [10, 93].

Для модифікації борошняної основи класичної здоби «Травнева» замість ПБ першого ґатунку пропонується використовувати композицію з ПБ в/г та ЦЗБ. Таке поєднання суттєво підвищує біологічну цінність виробу, проте радикально змінює реологічні властивості тіста.

Заміна традиційної сировини на цільозернову впливає на низку показників:

- Текстура та структура: висівкові частинки ЦЗБ механічно деструктують глютену сітку, що послаблює білковий каркас і призводить до зниження питомого об'єму та ущільнення м'якуша.
- Органолептичні властивості: м'якуш набуває темнішого кремового відтінку та вираженого зерново-горіхового присмаку.
- Гідратаційна здатність: через високу гігроскопічність висівок ЦЗБ поглинає більше вологи. Відсутність корекції рівня гідратації призводить до сухості м'якуша та прискореного черствіння.

Приймаючи до уваги наукові результати [18, 20], де доцільною вважають заміну 20 % ПБ в/г на ЦЗБ, в межах плануємих лабораторних випробувань раціонально дослідити вміст ЦЗБ у борошняній суміші на рівні 15–25 %. Критичним чинником при формуванні нової борошняної композиції є деструктивний вплив периферійних часток зерна на білковий каркас тіста. Встановлено, що перевищення 20 %-вої межі вмісту ЦЗБ інтенсифікує розрив клейковинних ниток, що вимагає компенсації через корекцію гідратаційного модуля (додатково 2–5 % води на кожну десятку заміщеного борошна). Це дозволяє нівелювати ризик отримання сухого м'якуша та запобігти прискореній ретроградації крохмалю (черствінню).

1.4.1.2 Гірчична олія як засіб оптимізації жирнокислотного складу та пролонгації свіжості

Попри високу засвоюваність (95–97 %) та значну харчову цінність, ВМ характеризується високим вмістом холестерину (до 237 мг/100 г), що робить його одним із найбільш критичних інгредієнтів у складі висококалорійної здоби [55].

Для оптимізації жирового складу та підвищення харчової цінності булки «Травнева» пропонується часткова заміна ВМ на ГО. Це дозволить знизити вміст холестерину та насичених жирних кислот у готовому виробі, збагатити його вітамінами Е, групи В та іншими біологічно активними компонентами, а також покращити реологічні властивості тіста.

ГО, отримана методом холодного пресування насіння за температури 40–50 °С, є цінним джерелом біологічно активних сполук. Вона характеризується антисептичними властивостями та містить комплекс вітамінів (А, В6, D, К, Р, РР), що сприяють зміцненню імунної та серцево–судинної систем. Висока концентрація природного антиоксиданту — вітаміну Е — не лише підвищує біологічну цінність здоби «Травнева», а й виконує роль натурального

консерванту, подовжуючи термін збереження свіжості м'якуша без застосування синтетичних добавок.

Мінеральний склад ГО (Mg, S, Fe, Na, K, Ca) та вміст фітонцидів, глікозидів, токоферолів і фосфоліпідів позитивно впливають на метаболічні процеси в організмі. ГО є ефективним заміником насичених тваринних жирів завдяки оптимальному балансу ПНЖК родин Омега-3 та Омега-6. Ці сполуки підвищують резистентність організму до інфекцій, сприяють виведенню надлишкового холестерину та знижують ризик тромбоутворення, що є важливою складовою профілактики серцево-судинних захворювань.

Порівняно з іншими рослинними оліями, ГО характеризується найнижчим кислотним числом, тривалий час зберігає стабільні органолептичні властивості та виявляє високу стійкість до окиснення під час зберігання і термічного оброблення.

ГО розглядається [94] як цінний інгредієнт для виготовлення здобних і кондитерських виробів. Завдяки вмісту ефірних олій вона сприяє інтенсифікації розпушення тіста, забезпечуючи виробам розвинену пористість і сповільнюючи процеси черствіння м'якуша.

Згідно з даними табл. 1.2, за вмістом ненасичених жирних кислот ГО суттєво переважає ВМ. Масова частка останніх від загальної кількості жирних кислот у ГО становить 93,47 %, тоді як у ВМ — лише 35,54 %. Вміст ПНЖК в ГО у 44,4 рази перевищує аналогічний показник у ВМ. Зокрема, концентрація лінолевої кислоти у ГО в 35,5 рази вища порівняно з ВМ. Крім того, олія містить у 1,3 рази більше мононенасиченої олеїнової кислоти.

Традиційні компоненти здоби (ВМ та цукор) обмежують процеси набухання білків борошна, що надає тісту необхідної пластичності для формування та забезпечує характерну текстуру готових виробів.

Таблиця 1.2 – Склад жирних кислот вершкового масла та гірчиної олії

Жирні кислоти	ГО *	ВМ **
1	2	3
Насичені (НЖК)	4,98	64,47
пальмітинова	4,65	
стеаринова	0,33	
Ненасичені	93,47	35,54
Мононенасичені (МНЖК)	41,47	34,37
олеїнова; (ω -9, C18:1)	38,55	29,16
ерукова; (ω -9)	2,92	
Поліненасичені (ПНЖК)	52,0	1,17
лінолева; (ω -6, C18:2)	38,43	1,08
ліноленова; (ω -3, C18:3)	13,57	0,09
Співвідношення, що характеризують біологічну ефективність		
МНЖК : ПНЖК : НЖК	8,3:10,4:1,0	0,5:0,02:1,0
C18:2 : C18:1	1,0:1,0	1,0:27,0
C18:3 : C18:2	1,0:2,8	1,0:12,0

Примітка. * [95]; ** перераховано за даними [55].

Науково обґрунтовано, що часткова заміна ВМ на ГО призведе до трансформації показників якості здоби:

- Аромат: втрачається вершково-молочний акцент, натомість з'являється характерний пікантний аромат гірчиці.
- Структура: використання рідкої олії забезпечує еластичність м'якуша та створює ефект «вологості» порівняно з твердим жиром; крім того, ГО сповільнює ретроградацію крохмалю, що продовжує термін збереження свіжості виробу.
- Колір: каротиноїди ГО надають м'якушу насиченого золотистого відтінку.

Комбінування двох типів жирів сприятиме кращому утриманню вологи в тісті, а зниження частки насичених жирних кислот підвищить засвоюваність виробу. Таке поєднання дозволить зберегти традиційні органолептичні властивості здоби, водночас надаючи їй функціонального спрямування згідно із сучасними нутриціологічними стандартами.

Приймаючи до уваги відому інформацію, зокрема [55], для визначення оптимального співвідношення ВМ (формування смаку, аромату та структури) та ГО (забезпечення м'якості, біологічної цінності та пролонгації свіжості) в

модифікованій рецептурі доцільно дослідити заміну ВМ на ГО в межах (0–15 %). Для здобного дріжджового тіста 15 % заміни твердого ВМ на рідку ГО — це безпечний поріг, який зазвичай забезпечує збереження стабільності структурно-механічних властивостей м'якуша. ГО має специфічний гострий присмак і аромат. При перевищенні порогу 20 % виріб може отримати «технічний» запах або надмірну гіркоту. Велика кількість рідкої олії замість пластичного масла послаблює клейковинний каркас. Вироби можуть гірше тримати форму (розпливатися).

1.4.1.3 Біологічна цінність знежиреного полікомпонентного міксу з насіння та горіхів

У рецептурі здоби, що вдосконалюється, для оздоблення та збагачення поверхні пропонується використання багатокомпонентного знежиреного міксу «5 в 1» (рис. 1.1). Цей інгредієнт складається з цілісного насіння льону, кунжуту, гарбуза, а також горіхів кедра та мигдалю (по 20 % кожного), олію з яких вилучено методом холодного пресування. У такій сировині максимально збережені біологічно активні компоненти: концентрація білка зростає майже вдвічі, а вміст харчових волокон залишається незмінним, що сприяє адсорбції та виведенню токсичних сполук з організму. Оскільки залишковий жир становить 7–12 %, це вже не просто шрот, а повноцінний смако-ароматичний компонент.

В результаті декорування поверхні сформованої тістової заготовки даним компонентом (5 % від маси виробу) відсутній штучний аромат ванілі (класична здоба) має замінитись природним ароматом підсмаженого насіння та горіхів, який стане більш "крафтовим" (елітним пекарським), глибоким і менш кондитерським. При термічній обробці (реакція Майяра) посипка виділятиме

інтенсивний горіхово-зерновий аромат, який домінуватиме над дріжджовим запахом. Цей аромат буде поєднуватись зі специфічними ефірними нотками ГО.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд знежиреного полікомпонентного міксу насіння та горіхів «5 в 1»

Смакова палітра: Навіть після відтискання олії мигдаль та кедр зберігають солодкуватий, благородний горіховий присмак, що частково компенсує зменшення цукру в тісті та відсутність ваніліну. Гарбуз та кунжут надають виразного «смаженого» відтінку при випіканні. Це створить складний гастрономічний профіль, який добре поєднується з пікантністю ГО. Льон додасть легку трав'янисту нотку, яка гармоніює з ЦЗБ. Оскільки насіння цільне, воно створить приємний контраст із м'яким м'якушем. Це візуально та тактильно робить здобний виріб «багатшим».

Використання багатокомпонентної композиції дозволяє надати здобному виробу функціональних властивостей за такими напрямками:

- Збагачення рослинним білком: насіння гарбуза та кунжуту містить збалансований комплекс амінокислот, що підвищує загальну біологічну цінність здоби.
- Оптимізація мінерального профілю: суміш є природним концентратом Mg, Zn та Ca, необхідних для підтримки серцево-судинної системи та опорно-рухового апарату.

- Забезпечення незамінними жирними кислотами: насіння льону та ядра горіхів (кедра, мигдалю) забезпечують надходження ω -3 та ω -6 ПНЖК навіть у знежиреному стані (завдяки залишковому вмісту ліпідів).

- Антиоксидантна дія: високий вміст вітаміну Е та селену в горіхах посилює захисні властивості організму та сприяє стабільності якісних показників виробу під час зберігання.

Таке поєднання інгредієнтів трансформує традиційну здобу на нутрієнтний комплекс, що гармонійно поєднує високі органолептичні характеристики горіхово-зернової суміші з оздоровчим впливом на організм.

1.5 Висновки

1. Системний аналіз сучасного стану хлібопекарської галузі підтверджує стійкий вектор на створення продуктів функціонального призначення шляхом залучення нетрадиційної рослинної сировини. Встановлено, що класичні рецептури висококалорійної булочної здоби (зокрема, булки «Травнева») характеризуються дисбалансом нутрієнтного профілю — надлишком насичених тваринних жирів і рафінованих вуглеводів на тлі гострого дефіциту харчових волокон та мікронутрієнтів.

2. Теоретично обґрунтовано доцільність композиційного поєднання сортового пшеничного борошна з цільнозерновим (у межах 15–25 %). Це дозволяє суттєво підвищити вміст есенціальних мінеральних речовин, вітамінів групи В та клітковини. Водночас визначено потребу в технологічній компенсації деструктивного впливу периферійних часток зерна на клейковинний матрикс тіста.

3. Науково доведено високий технологічний потенціал нерафінованої ГО як ефективного пластифікатора для білкового каркаса тіста. Заміна до 15 % рецептурної кількості ВМ на ГО оптимізує жирнокислотний склад виробу за

рахунок ПНЖК родин Омега–3 та Омега–6, а завдяки високій концентрації токоферолів та ефірних фракцій забезпечує пролонгацію свіжості м'якуша та стримує ретроградацію крохмалю.

4. Обґрунтовано використання знежиреного ПКМ «5 в 1» (льон, кунжут, гарбуз, кедр, мигдаль) як функціонально-декоративного оздоблення поверхні. Це дозволяє повністю вилучити з рецептури родзинки та синтетичний ванілін, компенсуючи смакові та ароматичні властивості виробу завдяки природному потенціалу горіхово-зернової суміші, одночасно підвищуючи щільність рослинного білка в готовому продукті.

Таким чином, комплексне моделювання рецептури здоби на основі синергетичної взаємодії ЦЗБ, ГО та полікомпонентного оздоблення є перспективним і науково обґрунтованим рішенням для створення інноваційного крафтового виробу з подовженим терміном зберігання.

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Матеріали і методи досліджень

Робота виконувалась на кафедрі технології природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції. Метою дослідницької роботи є визначення комплексного впливу часткової заміни ПБ в/г на ЦЗБ та часткової заміни ВМ на ГО на технологічні властивості тіста та якість модифікованої здоби для підвищення її харчової цінності, покращення органолептичних показників та подовження терміну зберігання виробів. Сюди ж відноситься дослідження впливу оздоблення виробу знежиреним ПКМ.

2.1.1 Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження є:

- тісто з різним ступенем заміни основної сировини – ПБ в/г та ВМ на функціональні інгредієнти – ЦЗБ та ГО;
- готові вироби без оздоблення поверхні: дослідні зразки здоби (1к–7) з різним вмістом ЦЗБ та ГО (табл. 2.1);
- готові вироби з оздобленою поверхнею: 2 дослідні зразки з оптимальною кількістю знежиреного ПКМ насіння та горіхів (5 %), яка нанесена на сформовану заготовку тіста найпідхожішого складу перед випіканням.

Таблиця 2.1 – Рецептний склад дослідних зразків нової здоби

№ зразка	Інгредієнти, кг / (%)							
	ПБ в/Г	ЦЗБ	ВМ	ГО	Дріжджі	Сіль	Цукор	Яйця
1к	100,0	–	20,0 (100)	–	4,0	1,0	15,0	1,0
2	100,0	0,0	17,0 (85)	3,0 (15)	4,0	1,0	15,0	1,0
3	85,0	15,0	17,0 (85)	3,0 (15)	4,0	1,0	15,0	1,0
4	80,0	20,0	17,0 (85)	3,0 (15)	4,0	1,0	15,0	1,0
5	75,0	25,0	17,0 (85)	3,0 (15)	4,0	1,0	15,0	1,0
6	85,0	15,0	20,0 (100)	–	4,0	1,0	15,0	1,0
7	85,0	15,0	18,5 (92,5)	1,5 (7,5)	4,0	1,0	15,0	1,0

Примітка. Вода – за розрахунком.

2.1.2 Сировина та допоміжні матеріали. Специфічні технологічні функції інгредієнтів

У дослідженні були використані наступні види сировини:

- борошно пшеничне вищого ґатунку (ГСТУ 46.004–99, ТОВ «ДМК «Дніпромлин»);
- борошно пшеничне цільозернове (ТУ У 10:6–05415042–005:2021, ТОВ «ДМК «Дніпромлин»);
- дріжджі хлібопекарські пресовані (ДСТУ 4812:2007);
- цукор (ДСТУ 4623:2023);
- сіль кухонна (ДСТУ 3583:2015);
- вода питна (ДСТУ 7525:2014);
- масло вершкове (ДСТУ 4399:2005);
- олія гірчична нерафінована холодного пресування (ТУ У 10.4-2849903875-001:2019, ФОП Кібець Р.В., Україна);

- яйця (ДСТУ 5028:2008);
- суміш-мікс «5 в 1» (знежирене насіння льону, кунжуту, гарбуза та горіхів кедра, мигдалю – все по 20 %) (ТУ У 10.4-284990383875-001:2021, ФОП Кібець Р.В., Україна).

У рецептурі нової здоби, яка вдосконалюється (табл. 2.1), кожен інгредієнт виконує специфічну технологічну функцію [96], що забезпечує структуру, смак та термін зберігання.

1. Дріжджі. Біологічне розпушування: перетворюють цукри на вуглекислий газ, який створює пористу структуру м'якушу. Формування аромату: у процесі бродіння виділяються спирти та органічні кислоти, які формують специфічний «хлібний» аромат. Особливість: оскільки у рецептурі багато здоби (жир, цукор), дозування 4 % є оптимальним для подолання осмотичного тиску (здоба «гальмує» дріжджі).

2. Сіль. Регулятор смаку: підкреслює солодкість цукру та аромат масла. Зміцнення клейковини: сіль робить білкову сітку міцнішою, що заважає тісту «розпливатися» (особливо важливо при заміні ВМ на рідку ГО). Контроль бродіння: сіль дещо стримує активність дріжджів, запобігаючи перекисанню тіста.

3. Цукор. Живлення для дріжджів: забезпечує швидкий старт бродіння. Смак та колір: надає солодкість та сприяє утворенню золотистої скоринки (реакція Майяра та карамелізація). Гігроскопічність: утримує вологу, що продовжує свіжість булки.

4. Яйця. Емульгування: лецитин жовтка допомагає поєднати воду та жири (масло/олію) в однорідну емульсію. Структура: яєчні білки при випіканні коагулюють (згортаються), створюючи додатковий «каркас», який підтримує об'єм виробу. Колір: надають м'якушу приємного жовтуватого відтінку.

5. Вершкове масло. Пластичність м'якуша: жир обволікає нитки клейковини, роблячи їх еластичними, а м'якуш — «волокнистим» та ніжним. Смаковий профіль: ВМ дає той самий преміальний молочний присмак, притаманний класичній здобі. Бар'єрна функція: сповільнює ретроградацію крохмалю (черствіння), тому вироби довше залишаються м'якими.

При заміні частини ВМ на ГО (зразки № 2–5, 7), тісто стає більш рухливим, а м'якуш — більш вологим, але менш «стабільним» за формою.

2.1.3 План дослідження

Дослідження проводились поетапно:

Етап 1. Розроблення дослідної серії рецептур нової здоби (зразки № 1к–7) на основі ПБ в/г з варіюванням часток ЦЗБ (0–25 %) та ГО (0–15 % заміни ВМ).

Внутрішньосерійний контрольний зразок № 1к (100 % ПБ в/г, 100 % ВМ) слугував локальним еталоном для визначення впливу функціональних інгредієнтів на кінетику бродіння тіста та реологічні властивості м'якуша. За результатами комплексу фізико-хімічних та органолептичних випробувань у межах цієї серії було встановлено найкращий зразок — № 3 (15 % ЦЗБ + 15 % ГО).

Етап 2. Оптимізація процесу оздоблення та оцінювання адгезійної здатності напівфабрикатів. На цьому етапі було експериментально досліджено закономірності нанесення та фіксації функціонально-декоративного міксу «5 в 1» (у кількості 5 %) на поверхні виробів. Експериментальну перевірку адгезійної здатності та міцності закріплення горіхово-зернової суміші проведено на зразках № 6 та № 7, які характеризуються ідентичними показниками вологості, в'язкості та структурно-механічних властивостей поверхневих шарів тіста з дослідної серії.

Зважаючи на високий рівень утримання компонентів міксу (без осипання після випікання та охолодження), встановлений технологічний ефект було науково обґрунтовано екстрапольовано на визначений оптимальний зразок № 3. Це дозволило уніфікувати спосіб оздоблення для фінальної моделі модифікованого виробу.

Етап 3. Комплексне порівняльне оцінювання розробленого модифікованого виробу (зразок № 3 з міксом) із традиційним рецептурним

аналогом промислової здоби «Травнева» (виготовленої на основі борошна 1-го сорту з додаванням родзинок і ваніліну) за показниками макронутрієнтного складу, енергетичної цінності та тривалості збереження свіжості.

2.1.4 Методика приготування тіста та випікання

Для отримання зразків модифікованої здоби, як і у випадку класичної здоби «Травнева», найбільш виправданим є опарний спосіб. Опара дозволяє дріжджам активізуватися у сприятливому середовищі до того, як вони зіткнуться з великою кількістю цукру та жирів, що пригнічують їхню дію. ЦЗБ та жири (ВМ+ГО) вносились саме на етапі замісу тіста, а не в опару. Висівки в ЦЗБ «Дніпромлин» мають гострі краї, які механічно руйнують нитки глютену. Якщо додати ЦЗБ в опару, то при бродінні остання «осяде» швидше і не буде отримано потрібного об'єму (особливо у зразках № 4 та № 5, де ЦЗБ найбільше).

Опара на 100 % ПБ в/г створює міцний «каркас», який зможе втримати важкі частинки цілого зерна та велику кількість здоби (15 % цукру та 20 % жирів). Для зразків № 2-5, 7, де є ГО, остання діє як потужний поверхнево-активний засіб. Якщо додати її занадто рано, вона «обволікає» частинки борошна, перешкоджаючи воді проникати до білків, що сповільнить розвиток клейковини.

Розподіл інгредієнтів для всіх зразків:

- опара (вологість 56–58 %): ПБ в/г (40–50 % від його загальної кількості), вода 70–80 % від розрахункової, дріжджі – усі.

- тісто (вологість 39–41 %): борошно – увесь залишок ПБ в/г + усе ЦЗБ, рідкі компоненти – решта води, яйця, сухі компоненти – сіль, цукор (краще у вигляді розчину), жири (ВМ/ГО) вносяться за 5–7 хв до закінчення замісу.

Пробне додавання ПКМ «5 в 1» на поверхню зразків № 6 та № 7 мало на меті не лише покращити зовнішній вигляд, а й підвищити вміст білка та

клітковини. Знежирене насіння має здатність інтенсивно поглинати та віддавати запахи. У поєднанні з ГО це може створити унікальний «крафтовий» аромат. Оздоблення міксом краще робити безпосередньо перед посадкою в піч, змащуючи попередню поверхню льєзоном.

Для зручності лабораторного випікання інгредієнти перераховано на 250 г суміші борошна (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Кількість інгредієнтів у рецептурах зразків 1к-7

№	Інгредієнти, г										
	опара			ПБ в/г	ЦЗБ	ВМ	ГО	Сіль	Цукор	Яйця	Вода
	ПБ в/г	Дріжджі	Вода								
	тісто										
1к	125,0	10,0	125	125,0	–	50,0	–	2,5	37,5	2,5	29
2	125,0	10,0	120	125,0	–	42,5	6,2	2,5	37,5	2,5	30
3	125,0	10,0	115	87,5	37,5	42,5	6,2	2,5	37,5	2,5	29
4	100,0	10,0	100	100,0	50,0	42,5	6,2	2,5	37,5	2,5	42
5	100,0	10,0	100	87,5	62,5	42,5	6,2	2,5	37,5	2,5	42
6	125,0	10,0	115	87,5	37,5	50,0	–	2,5	37,5	2,5	31
7	125,0	10,0	115	87,5	37,5	46,25	3,1	2,5	37,5	2,5	29

Етап 1 — приготування опари: взяти певну кількість ПБ в/г (табл. 2.2, згідно зі зразком). Підігріти частину води (табл. 2.2) до температури 28-32 °С, внести дріжджі 10,0 г. Розчинити дріжджі у воді до повного зникнення грудочок. Поступово всипати борошно. Замішати до однорідності протягом 3–5 хв. Залишити опару бродити при температурі 30–31 °С (водяна баня з термореле). Незважаючи на нормативну тривалість бродіння опари (2–3 год), у ході експерименту було встановлено інтенсивний розвиток дріжджової мікрофлори. Вже через 60 хв бродіння опара в усіх зразках досягла свого технологічного піку — збільшення в об’ємі у 4,2–5,3 рази.

Основними критеріями готовності опар, за якими було прийнято рішення про перехід до замішування тіста через 1 год бродіння, стали: досягнення максимального об’єму та початок вирівнювання купола (ознака стабілізації об’єму); поява вираженого спиртового запаху та характерна сітчаста структура поверхні з бульбашками газу, що лопаються; стабільна температура (30–31 °С), що стимулювала форсоване газоутворення. Скорочення терміну бродіння опари

дозволило зберегти цукри борошна для подальшої активної роботи дріжджів на стадії бродіння тіста та остаточного вистоювання. Попри скорочений термін бродіння опари, органолептичний аналіз готових виробів показав високу якість формування: верхівка формових (пасочних) виробів була гладкою та куполоподібною. Це свідчить про збереження достатнього потенціалу газотримувальної здатності клейковинного каркаса та своєчасний перехід до стадії замісу тіста при досягненні опарою максимального об'єму.

Етап 2 — приготування тіста: доки опара бродить, підготувати жиро-цукрову суміш. У залишку теплої (35 °C) води (див. табл. 2.2, згідно зі зразком) розчинити цукор (37,5 г) та сіль (2,5 г), додати збите яйце (2,5 г). Внести цю суміш у виброджену опару та ретельно перемішати. Поступово додавати залишок суміші борошна (табл. 2.2).

Розм'якшене ВМ (кімнатної температури) та ГО вводять наприкінці замісу (за 5–7 хв до закінчення), щоб не пригнічувати розвиток клейковини. Тісто вимішують вручну протягом 25–30 хв до еластичного стану (почне легко відходити від рук або стінок ємності).

Для бродіння помістити тісто в ємність, залишити у теплі (30–32 °C, водяна баня з термореле) на 60 хв (об'єм тіста має зрости більше ніж у 2,0 рази), зробити одну обминку для видалення надлишку вуглекислого газу та насичення тіста киснем для подальшої роботи дріжджів. Обминка (30–60 с): тісто злегка притиснути (здути) і скласти кілька разів від країв до центру, щоб не порвати волокна клейковини. Після обминки тісто візуально «осідає» майже до початкового рівня, але піднімається вдруге набагато швидше, ніж у перший раз. Далі продовжити бродіння ще протягом 45 хв. До кінця бродіння загальний об'єм тіста має збільшитися у 2,5–3,0 рази порівняно з початковим станом після замісу.

Етап 3 — Обробка, формування та оздоблення: Готове здобне тісто розділяли на шматки масою 80–81 г (з урахуванням розрахункового технологічного упіку та усушки для одержання готового виробу нормативною масою 70 г). Кожному шматові округленням надавали кулястої форми.

Обґрунтування способу формування. Початковий етап досліджень (контрольний зразок № 1к) показав низьку формостійкість тістових заготовок при подовому способі випікання, що виражалося у значному розпливанні виробів (збільшенні діаметра при низькій висоті) під час остаточного розстоювання. На нашу думку, це першочергово зумовлено високою початковою вологістю тіста (сумарна частка води становить 61,6 % до маси борошна) в умовах підвищеного вмісту цукру, що призводить до значного розрідження та плинності тістової маси.

При переході до дослідних зразків (№ 3–№ 5), що містять ЦЗБ та ГО, тенденція до розпливання додатково посилилася під дією двох супутніх факторів:

- механічного: частинки висівок у ЦЗБ послаблюють клейковинний каркас тіста;
- реологічного: заміна пластичного ВМ на рідку ГО підвищує рухливість та текучість системи.

З метою отримання порівнянних результатів, забезпечення високого питомого об'єму та привабливого зовнішнього вигляду виробів, було прийнято рішення про перехід до формового способу випікання для всіх зразків дослідної серії. Використання індивідуальних пасочних паперових форм дозволило повністю нівелювати розпливання та об'єктивно оцінити вплив рецептурних компонентів на пористість та питомий об'єм м'якуша у фіксованому об'ємі форми. Здобні пасочні вироби, приготовані в даному дослідженні, мають ніжну, тонку скоринку, яка потребує обережного поводження (рис. 2.1).

Сформовані круглі заготовки поміщали в паперові форми та направляли на остаточне розстоювання. Його здійснювали впродовж 50–60 хв у теплому місці за температури 32–36 °С та відносної вологості повітря 75–80 % до збільшення заготовок в об'ємі не менше ніж в 1,5–1,8 раза.

Підготовка поверхні заготовок безпосередньо перед посадкою в піч мала диференційований характер:

- для зразків № 1к–5: після завершення розстоювання поверхню змащували виключно традиційним яєчно-молочним льезоном для оцінки

чистого впливу рецептурних інгредієнтів тіста на якість м'якуша (результати представлено на фотографіях зовнішнього вигляду виробів, рис. 2.1);

– для частини зразків № 6 та № 7: після змащування льезоном на поверхню додатково наносили ПКМ «5 в 1» у кількості 3,5 г (5 % від маси готового виробу) з метою дослідження його впливу на загальну нутрієнтну щільність та декор скоринки.

Етап 4 — Випікання та охолодження виробів: Експериментальні зразки нового здобного виробу випікались у настільній електричній печі Grunhelm GN351ARC потужністю 1800 Вт з режимом конвекції в умовах, зазначених в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Умови випікання дослідних зразків

№ зразку	Умови випікання	Температура у виробі, °C
1к	185-190 °C протягом 25 хв; перші 5 хв. з парозволоженням	–
2	185-190 °C упродовж 25 хв; перші 5 хв. з парозволоженням	94,0
3	200 °C протягом 10 хв, далі 180 °C упродовж 10 хв без парозволоження	92,4
4	200 °C протягом 10 хв, далі 180 °C упродовж 13 хв без парозволоження	91,3
5	200 °C упродовж 10 хв, далі 180 °C упродовж 17 хв без парозволоження	91,3
6	200 °C протягом 10 хв, далі 180 °C упродовж 13 хв без парозволоження	95,7
7	200 °C протягом 10 хв, далі 180 °C упродовж 13 хв без парозволоження	94,8

Відразу після завершення процесу термообробки температура всередині гарячого виробу вимірювалася електронним термометром–щупом. Для підтвердження готовності здобного виробу вона має становити в межах 94–96 °C.

Охолодження. Для забезпечення рівномірної циркуляції повітря з усіх боків, відразу після виймання з печі вироби перекладали з противня на металеву решітку. Охолодження проводили за кімнатної температури, уникаючи протягів для запобігання зморщуванню скоринки. Повне охолодження для здобного виробу масою 70 г тривало приблизно 40–60 хв.



Зразок № 1к (100 ПБ в/Г, 100 ВМ)



Зразок № 2 (100 ПБ в/Г, 85 ВМ+15 ГО)



Зразок № 3 (15 ЦЗБ, 85 ВМ+15 ГО)



Зразок № 4 (20 ЦЗБ, 85 ВМ+15 ГО)



Зразок № 5 (25 ЦЗБ, 85 ВМ+15 ГО)



Зразок № 6 (15 ЦЗБ, 100 ВМ)



Зразок № 7 (15 ЦЗБ, 92,5 ВМ+7,5 ГО)

Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд та характер пористості м'якуша дослідних зразків. Формовий спосіб випікання

2.1.5 Методи дослідження

2.1.5.1 Визначення показників якості напівфабрикатів

1. Визначення температури напівфабрикатів. Температура вимірювалась електронним термометром–щупом, занурюючи у напівфабрикат на 2–3 хв.

2. Визначення питомого об'єму тіста. За цим показником визначають пружно-еластичні властивості тіста [97–98].

Хід аналізу. Від підготовленого напівфабрикату відбирають наважку масою 50 г (з точністю до 0,01 г). Тісто поміщають у мірний скляний циліндр місткістю 250 мл, попередньо змащений тонким шаром рослинної олії. Для видалення повітряних порожнеч між тістом і стінками циліндра наважку ущільнюють шляхом легкого постукування дна циліндра об поверхню столу.

Фіксують початковий об'єм тіста за шкалою циліндра (V_1 , см³). Циліндр розміщують у термостаті (або на водяній бані) за температури 30–32 °С. Через рівні проміжки часу (кожні 15 хв) фіксують поточний об'єм тіста за шкалою (V_2 , см³). Експеримент проводять у два етапи (до і після обминки). Результати спостереження за бродінням тіста для зразків 1к-7 наведені в табл. 2.4.

Питомий об'єм тіста (v) на будь-якому етапі розраховують за формулою (2.1):

$$v = \frac{V}{m}, \quad (2.1)$$

де V – об'єм тіста в циліндрі на певний момент часу, см³;

m – маса наважки тіста, г.

Здатність тіста до розширення оцінюють за кратністю збільшення об'єму (K), яку розраховують за формулою (2.2):

$$K = \frac{V_2}{V_1} \quad (2.2)$$

Для якісного здобного тіста об'єм до кінця бродіння має зрости у 1,5–2,5 раза (залежно від вмісту цукру та жиру в рецептурі).

Таблиця 2.4 – Результати спостереження за бродінням тіста при температурі 30–32 °С

Об'єкт дослідження	Етап контролю	Час, хв	Наважка, г	Об'єм у циліндрі, мл
1	2	3	4	5
Зразок № 1к	перший	0	53,01	60
		15		70
		30		80
		45		120
		60		160
	обминка	1 хв		60
	другий	15		120
		30		150
		45		180
Зразок № 2	перший	0	49,64	50
		15		60
		30		80

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
		45		120
		60		160
	обмінка	1 хв		50
	другий	15		100
		30		130
		45		166
Зразок № 3	перший	0	50,22	60
		15		70
		30		90
		45		130
		60		160
	обмінка	1 хв		60
	другий	15		100
		30		145
		45		180
Зразок № 4	перший	0	49,62	50
		15		60
		30		100
		45		130
		60		160
	обмінка	1 хв		60
	другий	15		90
		30		130
		45		160
Зразок № 5	перший	0	49,80	60
		15		70
		30		90

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
		45		120
		60		130
	обминка	1 хв		50
	другий	15		90
		30		130
		45		160
Зразок № 6	перший	0	51,79	50
		15		70
		30		100
		45		140
		60		170
	обминка	1 хв		60
	другий	15		90
		30		140
		45		180
Зразок № 7	перший	0	49,72	60
		15		80
		30		100
		45		120
		60		160
	обминка	1 хв		55
	другий	15		100
		30		140
		45		175

2.1.5.2 Визначення фізико-хімічних та органолептичних показників якості хлібобулочних виробів

Фізико-хімічні показники здобних виробів визначають у термін від 1 до 16 год після виймання з печі [98].

Визначення кислотності проводять згідно [97-99] прискореним методом (титруванням).

Методика підготовки: для виробів масою до 0,2 кг використовують цілу одиницю продукції без скоринки. Наважку подрібненого м'якуша (25 г) змішують з дистильованою водою (250 см³, t = 60 °C) та інтенсивно збовтують протягом 3 хв.

Аналіз: відфільтровану витяжку титрують розчином гідроксиду натрію (0,1 моль/дм³) у присутності фенолфталеїну до появи стійкого слаборожевого забарвлення.

Кислотність (*K*, град) обчислюють за формулою (2.3):

$$K = \frac{V \cdot 250 \cdot 100}{25 \cdot 50 \cdot 10}, \quad (2.3)$$

де *V* – об'єм 0,1 моль/дм³ розчину NaOH, витраченого на титрування, см³;

250 – об'єм води, взятої на визначення, см³;

100 – коефіцієнт перерахунку кислотності на 100 г м'якуша;

50 – кількість витяжки, взятої на титрування, см³;

25 – наважка м'якуша, г;

10 – коефіцієнт перерахунку 0,1 моль/дм³ на 1 моль/дм³ розчину лугу.

Розбіжність між паралельними титруваннями допускається не більше як на 0,3 см³. Кінцевим результатом є середнє арифметичне двох визначень. Кислотність визначається з точністю до 0,5 град. Під час обчислення результатів частки до 0,25 включно відкидаються; вище від 0,25 до 0,75 включно прирівнюють до 0,5, а частки вище як 0,75 – до одиниці.

Результати визначення кислотності здобних виробів (1к-7) представлені в табл. 2.5.

2. Визначення питомого об'єму виробу. Об'єм виробу визначають методом витіснення сипких тіл (просо, ріпак або пшоно) згідно [98].

Методика: Об'єм виробу (V , см³) розраховують як різницю між повним об'ємом мірної місткості та об'ємом зерна, що залишився після завантаження виробу. Вимірювання проводять двічі; допустиме відхилення між паралельними дослідями — не більше 5 %.

Питомий об'єм виробу (v) (см³/г) розраховується (ф. 2.4) як відношення його об'єму до маси, см³/г:

$$v = \frac{V}{m}, \quad (2.4)$$

де V – об'єм витісненого зерна, см³;

m – маса виробу, г.

Отримані результати питомого об'єму виробів (1к-7) наведено в табл. 2.5.

3. Визначення пористості [97-99]. Через малу масу зразків (бл. 70 г) та високу деформативність здобного м'якуша, використання стандартного приладу Журавльова є недоцільним. Для мінімізації механічних пошкоджень застосовано метод «геометричної виїмки».

Методика: Після 3-годинного охолодження із серединної частини м'якуша гострим лезом вирізають зразок правильної геометричної форми масою (m) понад 20,0 г. Об'єм виїмки ($V_{\text{виїм}}$) визначають методом витіснення сипких тіл (пшоно) у мірній місткості. Вимірювання проводять двічі з допустимим відхиленням до 5 %.

Пористість (Π , %) обчислюють за формулою (2.5):

$$\Pi = \frac{V_{\text{виїм}} - \frac{m}{\rho}}{V_{\text{виїм}}} \cdot 100 \quad (2.5)$$

де $V_{\text{виїм}}$ – об'єм виїмки м'якуша; см³;

m – маса виїмки, г;

ρ – густина безпористої маси м'якуша; для здобних виробів з пшеничного борошна зазвичай приймають рівною 1,31 г/см³.

Пористість обчислюють з точністю до 1 %. Частки до 0,5 включно відкидають, а вищі від 0,5 – прирівнюють до одиниці. Результати визначення пористості дослідних виробів (1к–7) наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати визначення фізико-хімічних показників дослідних здобних виробів

№ зразка	Інгредієнти, %				Кислотність, °Н	Питомий об'єм, см ³ /г	Пористість, %
	ПБ в/Г	ЦЗБ	ВМ	ГО			
1к	100,0	–	100,0	–	2,5 (2,5)	4,6	83 (83,0)
2	100,0	–	85,0	15,0	2,5 (2,3)	3,5	77 (77,3)
3	85,0	15,0	85,0	15,0	2,5 (2,4)	3,7	81 (80,7)
4	80,0	20,0	85,0	15,0	2,5 (2,6)	3,7	80 (79,5)
5	75,0	25,0	85,0	15,0	2,5 (2,5)	3,4	77 (77,4)
6	85,0	15,0	100,0	–	2,5 (2,4)	3,4	79 (78,6)
7	85,0	15,0	92,5	7,5	2,5 (2,3)	3,5	77 (77,4)

Примітка. У дужках наведені фактичні значення до округлення згідно з методикою.

4. Дослідження усушки здобних пасочних виробів [97]. Оцінка усушки є критично важливою для даного дослідження, оскільки ЦЗБ та ГО безпосередньо впливають на водоутримувальну здатність тіста. Результати усушки зазвичай розбивають на два етапи: технологічний (під час випікання) та загальний (після охолодження).

Усушку (U_{Π} , упік) — втрату вологи під час термічної обробки (випікання) визначають за формулою (2.6):

$$U_{\Pi} = \frac{(M_{\Gamma} - M_{\Gamma}) \cdot 100}{M_{\Gamma}}, \quad (2.6)$$

де M_{Γ} – маса тіста, г;

M_{Γ} – маса гарячого виробу (одразу після виходу з печі), г.

Усушку після охолодження (U_c , %) визначають (ф. 2.7) як різницю між масою гарячого виробу (одразу після виходу з печі) та масою виробу після повного охолодження або через певний час зберігання:

$$U_c = \frac{(M_r - M_x) \cdot 100}{M_r}, \quad (2.7)$$

де M_r – маса гарячого виробу, г;

M_x – маса охолодженого виробу, г.

Визначення технологічних витрат (упіку та усушки) проводили за загальноприйнятою методикою згідно [97-98]. Масу виробів фіксували на електронних вагах з точністю до 0,01 г через 2, 24, 48 та 72 год зберігання. Результати визначення усушки занесено до табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Показники усушки здобних пасочних виробів

№ зразка	Умови випікання	Усушка при випіканні, %	Усушка, %			
			2 год	24 год	48 год	72 год
1к	185-190 °С протягом 25 хв; перші 5 хв. з парозволоженням	–	–	–	–	–
2	185-190 °С упродовж 25 хв; перші 5 хв. з парозволоженням	11,73	0,9	2,09	2,77	3,58
3	200 °С протягом 10 хв, далі 180 °С упродовж 10 хв без парозволоження	9,94	2,51	4,02	4,80	5,46
4	200 °С протягом 10 хв, далі 180 °С упродовж 13 хв без парозволоження	11,23	3,33	4,20	4,98	5,79
5	200 °С протягом 10 хв, далі 180 °С упродовж 17 хв без парозволоження	16,33	0,82	2,46	3,36	4,14
6	200 °С протягом 10 хв, далі 180 °С упродовж 13 хв без парозволоження	8,55	1,08	2,68	3,36	3,93
7	200 °С протягом 10 хв, далі 180 °С упродовж 13 хв без парозволоження	8,60	1,32	2,89	3,69	4,35

5. Визначення крихкуватості. Для порівняльної оцінки ступеня черствіння здобних пасочних виробів в кінці терміну зберігання використано метод примусового кришення наважки хліба в конічній колбі за методикою

В. І. Дробот [98]. Сутність методу полягає у визначенні маси крихти, що утворилася внаслідок взаємного тертя двох шматків м'якуша фіксованої маси (5 г) при механічному впливі протягом 5 хв. Розрахунок показника проводили у відсотках до вихідної маси наважки за формулою (2.8):

$$X = \frac{G_1 \cdot 100}{G_2} ; \quad (2.8)$$

де G_1 – маса крихти, г;

G_2 – маса наважки виробу, г.

Результати визначення крихкуватості представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Крихкуватість дослідних зразків здоби при подовженому терміні зберігання

Зразок, термін зберігання	ПБ в/г	ЦЗБ	Вершкове масло	Гірчична олія	Крихкуватість, %
1к	100,0	–	20,0 (100 %)	–	–
2 (8 днів)	100,0	–	17,0 (85 %)	3,0 (15 %)	4,55
3 (12 днів)	85,0	15,0	17,0 (85 %)	3,0 (15 %)	2,38
4 (11 днів)	80,0	20,0	17,0 (85 %)	3,0 (15 %)	6,76
5 (9 днів)	75,0	25,0	17,0 (85 %)	3,0 (15 %)	6,51
6 (6 днів)	85,0	15,0	20,0 (100 %)	–	10,73
7 (7 днів)	85,0	15,0	18,5 (92,5 %)	1,5 (7,5 %)	5,01

6. Органолептична оцінка [98]. Одним із найважливіших критеріїв оцінки якості хлібобулочних виробів є їх органолептичні властивості, оскільки саме вони формують перше враження споживача про продукт.

Органолептичні показники (зовнішній вигляд, стан поверхні, колір м'якуша, пористість, смак та аромат) визначають за 5-бальною шкалою [100]. Оцінювання проводилось дегустаційною комісією з 5 експертів (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Органолептична характеристика пасочних виробів композитного складу

№ зразка	Зовнішній вигляд і форма	Колір скоринки та м'якуша	Пористість і структура м'якуша	Смак	Аромат	Загальна оцінка якості
1к (Контроль)	4,8	4,8	4,9	5,0	4,8	4,86
2 (ГО без ЦЗБ)	5,0	4,9	4,4	4,7	4,9	4,78
3 (15 % ЦЗБ + 15 % ГО)	4,9	4,9	4,8	4,9	5,0	4,90
4 (20 % ЦЗБ + 15 % ГО)	4,8	4,9	4,7	4,8	4,9	4,82
5 (25 % ЦЗБ + 15 % ГО)	4,9	4,9	4,3	4,6	4,7	4,68
6 (15 % ЦЗБ без ГО)	4,6	4,5	4,1	4,5	4,5	4,44
7 (15 % ЦЗБ + 7,5 % ГО)	4,7	4,7	4,6	4,7	4,7	4,68

7. Визначення величин ключових елементів хімічного складу та енергетичної цінності. Основою для розрахунків стали відома рецептура здоби «Травнева» (промисловий еталон порівняння) [91] та модифікована рецептура з використанням ЦЗБ, ГО та ПКМ «5 в 1» зі знежирених насіння та горіхів (зразок № 3).

Для забезпечення точності матеріального балансу технологічного процесу та встановлення нормованого виходу готових виробів було проведено розрахунок вмісту сухих речовин для кожного рецептурного компонента класичної та модифікованої здоби.

Розрахунок маси сухих речовин ($M_{\text{ср}}$, г) для кожної сировини здійснювали розрахунковим методом [101], виходячи з її нормативної вологості, за формулою (ф. 2.9):

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_{\text{с}} \cdot (100 - W_{\text{с}})}{100}, \quad (2.9)$$

де $M_{\text{с}}$ — маса сировини за рецептурною закладкою, г;

$W_{\text{с}}$ — нормативна вологість конкретного виду сировини, % (прийнята згідно з діючими ДСТУ та технологічними інструкціями).

Загальну масу сухих речовин у тісті ($\sum M_{\text{ср.тіста}}$, г) визначали як суму сухих речовин усіх інгредієнтів без урахування доданої води, оскільки вологість технологічної води становить 100 %.

Вологість готового тіста ($W_{\text{тіста}}$, %) визначали за балансом води [101] за формулою (2.10):

$$W_{\text{тіста}} = \frac{\sum M_{\text{води}} \cdot 100}{M_{\text{тіста}}}, \quad (2.10)$$

де: $\sum M_{\text{води}}$ — сумарна маса води, що вноситься з усіма компонентами рецептури та технологічною водою, г;

$M_{\text{тіста}}$ — загальна маса замішаного тіста (сума мас усієї сировини та води), г.

При визначенні сухої речовини готового виробу враховували технологічні втрати сухої речовини на бродіння та оброблення тіста, а також втрати води під час термічної обробки (упік та усушка), які сумарно склали 13 % від загальної маси тіста.

Результати розрахунку маси тіста та вологості (на 100 г борошна) для обох виробів представлені в табл. 2.9 та 2.10, відповідно.

Розрахункова маса тіста класичного виробу становить 245,51 г; з урахуванням технологічних втрат (13 % або 31,32 г) вихід готового продукту складає 213,59 г при нормативній вологості 29,81 % (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 - Результати розрахунку маси тіста та вологості класичної здоби «Травнева» (на 100 г борошна)

Найменування сировини	Маса сировини, г, (M_c)	Вологість сировини, %, (W_c)	Маса води, г	Вміст сухих речовин, %	Маса сухих речовин, г (M_{cp})
Борошно пшеничне 1 сорту	100,00	14,00	14,00	86,00	86,00
Дріжджі пресовані	4,00	75,00	3,00	25,00	1,00
Сіль	0,50	0,25	0,00	99,75	0,50
Цукор	20,00	0,10	0,02	99,90	19,98
Масло вершкове	20,00	16,00	3,20	84,00	16,80
Родзинки	30,00	15,43	4,63	84,57	25,37
Яйця	1,00	74,50	0,75	25,50	0,26
Ванілін	0,01	0,00	0,00	100,00	0,01
Вода	70,00		70,00		0,00
Всього (маса тіста)	245,51		95,60		149,91

Таблиця 2.10 - Результати розрахунку маси тіста та вологості модифікованої здоби «Травнева» (зразок № 3) (на 100 г борошна)

Найменування сировини	Маса сировини, г, (M_c)	Вологість сировини, %, (W_c)	Маса води, г	Вміст сухих речовин, %	Маса сухих речовин, г (M_{cp})
Борошно пшеничне (в/г)	85,00	14,50	12,33	85,50	72,68
Борошно цілнозернове	15,00	14,50	2,18	85,50	12,83
Дріжджі пресовані	4,00	75,00	3,00	25,00	1,00
Сіль	1,00	0,25	0,00	99,75	1,00
Цукор	15,00	0,10	0,02	99,90	14,99
Масло вершкове	17,00	16,00	2,72	84,00	14,28
Гірчична олія	2,48	0,20	0,00	99,80	2,47
Яйця	1,00	74,50	0,75	25,50	0,26
Вода	57,60		57,60		0,00
Всього (маса тіста)	198,08		78,59		119,49

Примітка: Заміна 15 % рецептурної кількості ВМ (що становить 3,0 кг на 100 кг борошна) на ГО здійснювалася еквівалентно за вмістом чистого жиру з урахуванням сухих речовин сировини (жирність ВМ – 82,5 %, ГО – 99,8 %). Таким чином, кількість внесеної ГО становить 2,48 кг на 100 кг борошна (або 2,48 г на 100 г борошна в лабораторній практиці). Решту маси заміщеного ВМ, яка припадає на вологу (0,52 кг або 0,52 г відповідно), було компенсовано шляхом пропорційного збільшення кількості технологічної води при замішуванні тіста згідно з матеріальним балансом.

Розрахункова маса тіста модифікованої здоби (зразок № 3) становить 198,08 г; з урахуванням технологічних втрат (13 % або 25,75 г) вихід готового продукту складає 172,33 г при нормативній вологості 30,66 % (табл. 2.10).

Значення ключових хімічних складових сировини [102], яка використовувалась у виробі, наведені в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Значення макронутрієнтів використаної сировини

Найменування інгредієнта	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г
1	2	3	4
Борошно пшеничне 1 сорту	10,6	1,3	68,0
Борошно пшеничне в/г	10,3	1,1	70,0
Борошно цілнозернове	11,8	2,2	59,5

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4
Дріжджі пресовані	11,8	0,3	11,7
Сіль	0,0	0,0	0,0
Цукор	0,0	0,0	99,8
Масло вершкове	0,5	82,5	0,8
Гірчична олія	0,0	99,9	0,0
Яйця	12,6	9,5	0,7
Родзинки	2,3	0,5	71,2
Ванілін	0,0	0,0	13,0
Полікомпонентний мікс «5 в 1»	45,5	24,2	3,6

Результати розрахунку макронутрієнтів порівнюємих виробів представлені в табл. 2.12 та 2.13.

Енергетичну цінність здобних виробів ($EЦ$, ккал/100 г) визначено розрахунковим шляхом [102] як суму енергії, отриманої від кожного компонента (ф. 2.11):

$$EЦ = Б \cdot 4 + Ж \cdot 9 + В \cdot 4 + ОК \cdot 3,6, \quad (2.11)$$

де: 4, 9, 4 та 3,6 (ккал/г) — енергетичні коефіцієнти основних харчових речовин, відповідно, білка (Б, г), жиру (Ж, г), вуглеводу (В, г) та органічних кислот (ОК, г).

Результат обчислюють до цілих.

Зважаючи на те, що вміст органічних кислот (ОК) у пшеничних здобних виробках є технологічно мінімальним (у межах 0,1–0,3 %) і його внесок в загальну калорійність не перевищує 1 ккал, при проведенні практичних розрахунків даною величиною знехтувано як такою, що перебуває в межах похибки округлення.

Таблиця 2.12 - Результати розрахунку елементів хімічного складу класичної здоби «Травнева»

Найменування сировини	Кількість інгредієнту в 100 г виробу, г	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г
Борошно пшеничне 1 сорту	40,26	4,27	0,52	27,38
Дріжджі пресовані	0,47	0,06	0,00	0,05
Сіль	0,23	0,00	0,00	0,00
Цукор	9,35	0,00	0,00	9,34
Масло вершкове	7,87	0,04	6,49	0,06
Родзинки	11,88	0,27	0,05	8,46
Яйця	0,12	0,02	0,01	0,00
Ванілін	0,00	0,00	0,00	0,00
Вода	29,81	—	—	—
Сума	100,00	4,65	7,08	45,29

Енергетична цінність класичного виробу становить:

$$EC = 4 \cdot 4,65 + 9 \cdot 7,08 + 4 \cdot 45,29 = 263,48 \text{ (263) ккал}$$

Таблиця 2.13 - Результати розрахунку елементів хімічного складу модифікованої здоби «Травнева» (зразок № 3)

Найменування сировини	Кількість інгредієнту в 100 г виробу, г	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г
Борошно пшеничне в/г	40,16	4,14	0,44	28,12
Борошно цільозернове	7,09	0,84	0,16	4,22
Дріжджі пресовані	0,55	0,07	0,00	0,06
Сіль	0,55	0,00	0,00	0,00
Цукор	8,28	0,00	0,00	8,27
Масло вершкове	7,89	0,04	6,51	0,06
Гірчична олія	1,37	0,00	1,36	0,00
Яйця	0,14	0,02	0,01	0,00
Вода	30,66	—	—	—
Оздоблюв. полікомп. мікс «5 в 1»	3,30	1,50	0,80	0,12
Сума	100,00	6,60	9,29	40,85

Для модифікованої здоби «Травнева» енергетична цінність становить:

$$E = 4 \cdot 6,60 + 9 \cdot 9,29 + 4 \cdot 40,85 = 273,35 \text{ (273) ккал}$$

2.1.6 Статистична обробка результатів

Усі експериментальні дані обробляють методами математичної статистики з використанням програмного забезпечення MS Excel.

Результати, які отримано, дають змогу встановити взаємозв'язок між рецептурними компонентами, структурними показниками тіста та якістю готового виробу.

3 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Дослідження кінетики бродіння та газоутримувальної здатності здобного тіста композитного складу

Дослідження кінетики бродіння та динаміки зміни об'єму тіста є фундаментальним етапом оцінки якості здобних виробів, оскільки ці показники безпосередньо характеризують газоутворювальну здатність дріжджів та газоутримувальну здатність клейковинного каркаса. Проведення замірів об'єму тіста в мірних циліндрах мало на меті встановлення закономірностей впливу ЦЗБ та ГО на інтенсивність біохімічних процесів у часі. Аналіз швидкості підйому тіста на етапах до та після обминки дозволяє об'єктивно оцінити еластичність білкового матриксу та його здатність протидіяти механічному опору висівков, що є визначальним чинником для прогнозування пористості та питомого об'єму готової пасочної здоби.

Аналіз даних, які наведено в табл. 3.1, свідчить про помітний вплив ГО та ЦЗБ на кінетику бродіння та структурно-механічні властивості тіста.

1. Вплив гірчиної олії. Показник питомого об'єму тіста зразка № 1к, приготованого з ПБ в/г та ВМ (контроль), наприкінці першого етапу бродіння становить $3,02 \text{ см}^3$ і поступається зразку № 2 ($3,22 \text{ см}^3/\text{г}$), в якому 15 % ВМ замінено на ГО. Після обминки наприкінці другого етапу даний показник змінюється, відповідно, до $3,40 \text{ см}^3/\text{г}$ та $3,34 \text{ см}^3/\text{г}$. Близькість величин свідчить про те, що заміна 15 % ВМ на ГО не погіршує здатність тіста утримувати вуглекислий газ. Порівняння динаміки на першому (60 хв) та другому (45 хв) етапах демонструє вищу кратність збільшення об'єму тіста зразка № 2 (3,20 та 3,32 проти 2,67 та 3,00 у контролі № 1к). Це підтверджує тезу, що ГО створює сприятливіші умови для метаболізму дріжджів на початкових стадіях.

Хоча контроль (№ 1к, суто ВМ) має трохи вищий фінальний питомий об'єм, зразок № 2 продемонстрував більш динамічний «стрибок» об'єму на

другому етапі (з 1,01 до 3,34 см³/г, тобто у 3,3 рази, а № 1к – у 3,0 рази), що вказує на високу активність ферментативних процесів під впливом ГО.

Таблиця 3.1 – Вплив складу рецептурних компонентів на кінетику зростання об'єму та питомі показники тіста

Об'єкт дослідження (склад змінюваних інгредієнтів)	Етап контролю	Час, хв	Питомий об'єм (V_{num}), см ³ /г	Кратність збільшення об'єму тіста (K)
Зразок № 1к (100 ПБ в/г + 0 ЦЗБ + 100 ВМ + 0 ГО)	перший	60	3,02	2,67
	обминка	1 хв	1,13	–
	другий	45	3,40	3,00
Зразок № 2 (100 ПБ в/г + 0 ЦЗБ + 85 ВМ + 15 ГО)	перший	60	3,22	3,20
	обминка	1 хв	1,01	–
	другий	45	3,34	3,32
Зразок № 3 (85 ПБ в/г + 15 ЦЗБ + 85 ВМ + 15 ГО)	перший	60	3,19	2,67
	обминка	1 хв	1,19	–
	другий	45	3,58	3,00
Зразок № 4 (80 ПБ в/г + 20 ЦЗБ + 85 ВМ + 15 ГО)	перший	60	3,22	3,20
	обминка	1 хв	1,21	–
	другий	45	3,22	2,67
Зразок № 5 (75 ПБ в/г + 25 ЦЗБ + 85 ВМ + 15 ГО)	перший	60	2,61	2,17
	обминка	1 хв	1,00	–
	другий	45	3,21	3,20
Зразок № 6 (85 ПБ в/г + 15 ЦЗБ + 100 ВМ + 0 ГО)	перший	60	3,28	3,40
	обминка	1 хв	1,16	–
	другий	45	3,48	3,00
Зразок № 7 (85 ПБ в/г + 15 ЦЗБ + 92,5 ВМ + 7,5 ГО)	перший	60	3,22	2,67
	обминка	1 хв	1,11	–
	другий	45	3,52	3,18

Це можна пояснити дією декількох факторів:

а) зміною реології жирової фази: ВМ є тугоплавким жиром, який при температурі бродіння тіста (30–32 °С) перебуває у напівтвердому стані. ГО — це рідкий жир. Заміна 15 % масла на олію робить жирову фракцію більш рухливою. Рідка олія швидше й рівномірніше розподіляється у вигляді тонких плівок між компонентами тіста, що знижує внутрішній опір тіста при розширенні бульбашок газу. Тісту «легше» рости;

б) впливом на дріжджову клітину: ГО містить ненасичені жирні кислоти та вітамінні комплекси, які можуть виступати стимуляторами для дріжджів. Після обминки, коли дріжджі отримують доступ до нових порцій поживних речовин і видаляється надлишок спиртів, у зразку з ГО метаболізм відновлюється інтенсивніше. Це підтверджується показником інтенсивності газоутворення на 45-тій хв другого етапу: у зразка № 2 він становить 3,32, тоді як у контролі № 1к — лише 3,00.

в) ефектом «мастила» для клейковини. Обминка — це механічний вплив, який перегруповує білкові зв'язки. Рідка олія працює як ефективне мастило для ниток клейковини, роблячи їх більш еластичними (піддатливими до розтягування), але при цьому достатньо міцними, щоб утримувати газ. У зразка № 2 питомий об'єм за 45 хв другого етапу зріс у 3,3 раза (з 1,01 до 3,34), тоді як у контролі № 1к — у 3,0 рази (з 1,13 до 3,40). Тобто темп приросту у зразка з ГО вищий (швидкість відновлення структури після механічного впливу краща).

Особливий науковий інтерес викликає порівняння динаміки бродіння зразків № 6 (15 % ЦЗБ без ГО) та № 3 (15 % ЦЗБ з додаванням 15 % ГО). За ідентичного вмісту ЦЗБ в обох зразках, внесення ГО суттєво вплинуло на реологічну поведінку тіста, особливо на завершальних стадіях дозрівання. Попри те, що наприкінці першого етапу бродіння зразок № 6 мав вищий показник кратності (3,40 проти 2,67 у зразка № 3), аналіз етапу після обминки свідчить про переваги композиційного складу з ГО. Питомий об'єм зразка № 3 відновився з 1,19 до 3,58 см³/г, що дозволило йому не лише нівелювати

початкове відставання, а й випередити зразок № 6 (3,48 см³/г) за фінальним показником питомого об'єму.

Це доводить, що за однакового ступеня навантаження клейковини периферійними частками зерна (15 % ЦЗБ), саме введення ГО забезпечує кращу розтяжність білкового матриксу. Тверді частинки висівки у ЦЗБ виступають ініціаторами механічної деструкції та стеричних перешкод, що дестабілізують тривимірну структуру білкового каркаса. ВМ (зразок № 6) через високу в'язкість і щільну консистенцію пластичного жиру не забезпечує достатньої рухливості ліпідної фази для компенсації цього впливу. Водночас рідка ГО (зразок № 3) легко адсорбується на межі поділу фаз і обволікає висівкові частинки. Це суттєво зменшує абразивне тертя на межі «білок–висівка» під час деформації тіста. Внаслідок зниження внутрішнього механічного опору системи клейковинні плівки еластично розтягуються під тиском газу без руйнування. Це дозволяє зразку № 3 демонструвати вищу кінетику росту об'єму на фінальній стадії вистоювання, зумовлюючи формування розвиненої пористості готової здоби.

Найкращу здатність до утримування газу на другому етапі показав зразок № 7: ріст питомого об'єму з 1,11 до 3,52 см³/г свідчить про високу еластичність клейковини при такому співвідношенні жирів.

Графічна інтерпретація результатів (рис. 3.1) наочно демонструє вплив концентрації ГО на регенераційну здатність тіста після механічного впливу. Аналіз траєкторій бродіння дозволяє зробити такі висновки:

- попри інтенсивний старт до обминки (170 мл), лінія зразка без ГО (№ 6) на другому етапі демонструє найменший кут підйому. Це підтверджує, що без рідкої жирової фази клейковинний каркас, навантажений висівками, втрачає еластичність і не здатний до повного відновлення (ефект «втоми» клейковини);
- введення 7,5 % ГО (зразок № 7) дещо стабілізує динаміку, проте лінія залишається проміжною. Лише при дозуванні 15 % ГО (зразок № 3) графік після обминки стає максимально крутим, що дозволяє зразку нівелювати початкове відставання та фінішувати на рівні контролю (180 мл);

– зближення ліній зразків № 1к та № 3 наприкінці другого етапу бродіння доводить, що 15 % ГО є оптимальною кількістю для компенсації деструктивного впливу ЦЗБ.

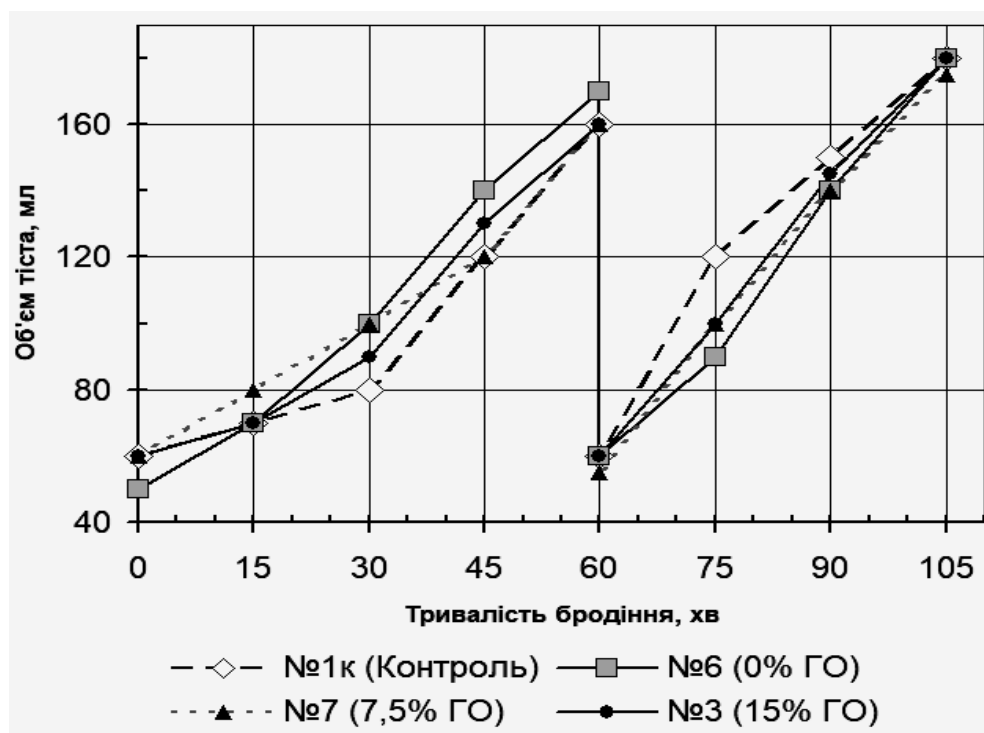


Рисунок 3.1 – Динаміка зміни об'єму тіста в процесі бродіння дослідних зразків № 1к, № 3, № 6–№ 7

Таким чином, графічний аналіз підтверджує, що саме 15 % заміна жиру на ГО забезпечує тісту необхідний запас міцності для подолання механічного опору висівок та досягнення високого питомого об'єму готової здоби.

2. Вплив концентрації цільнозернового борошна. Зразок № 5 (25 % ЦЗБ) демонструє межу адаптаційних можливостей системи. Попри присутність ГО, питомий об'єм наприкінці бродіння став найнижчим — 3,21 см³/г. Це обумовлено тим, що надмірна кількість висівок діє як потужний сорбент, забираючи вологу та роблячи клейковинний каркас жорстким та крихким. Навіть при активній роботі дріжджів, тісто не здатне утримувати газ, який «витікає» крізь мікротріщини у структурі.

Динаміка зразка № 4 (20 % ЦЗБ) підтверджує цей тренд: на другому етапі він починає суттєво відставати від лідера (зразок № 3), фінішуючи на позначці

160 мл. Таким чином, графічний аналіз (рис. 3.2) дозволяє встановити критичну межу насичення тіста висівками — до 20 %.

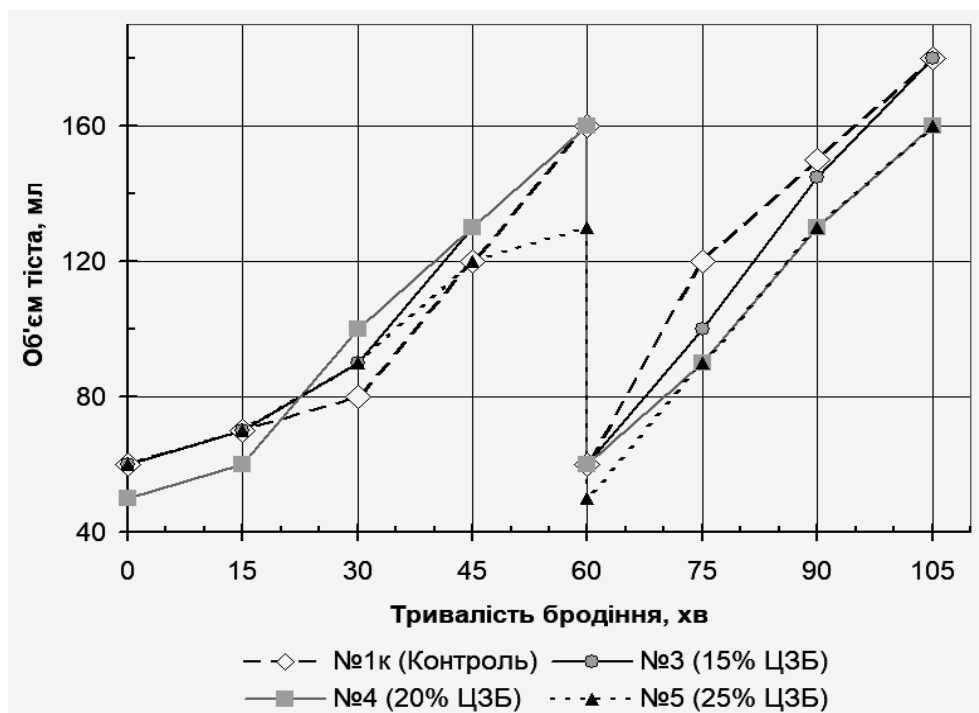


Рисунок 3.2 – Динаміка зміни об'єму тіста в процесі бродіння дослідних зразків № 1к, № 3–№ 5

При перевищенні цього порогу негативний вплив часток зерна стає домінуючим, і пластифікуюча дія ГО вже не здатна компенсувати механічне руйнування білкового матриксу. На основі проведеного аналізу кінетики бродіння тіста та його питомого об'єму можна підбити підсумок та визначити найкращий варіант для виробництва:

1. Роль жирової фази. Встановлено, що тип жиру відіграє вирішальну роль у здатності тіста до відновлення після механічного впливу (обминки). Використання виключно тугоплавких жирів (ВМ) у поєднанні з ЦЗБ призводить до швидкого вичерпання еластичності клейковини. Натомість заміна 15 % масла на ГО (зразок № 3) забезпечує стабільно високу енергію підйому тіста, що дозволяє композитній суміші за динамікою бродіння максимально наблизитися до контрольного еталона.

2. Вплив концентрації ЦЗБ. Виявлено пряму залежність між часткою ЦЗБ та газоутримувальною здатністю системи. Дозування до 20 % ЦЗБ включно за

умови присутності 15 % ГО дозволяє підтримувати об'ємні показники тіста на рівні, близькому до контролю. Однак збільшення вмісту висівок до 25 % (зразок № 5) стає критичним: на графіку чітко простежується «просідання» кривої об'єму на обох етапах бродіння, що вказує на деструкцію білкового матриксу.

3. Оптимізація дозування ГО. Порівняльний аналіз кінетичних кривих при різному вмісті ГО підтверджує, що дозування 7,5 % ГО є недостатнім для повної компенсації негативного впливу висівок. Тільки при концентрації 15 % ГО досягається необхідний рівень пластифікації клейковинних ниток, що забезпечує впевнене зростання об'єму тіста на фінальній стадії бродіння.

4. Для впровадження у виробництво може бути рекомендована рецептура з комбінацією інгредієнтів: 85 % ПБ в/г + 15 % ЦЗБ; заміна 15 % ВМ на ГО. Дане поєднання створює оптимальні біохімічні умови для формування майбутньої структури виробу. Це є ключовим фактором для отримання якісної пасочної здоби. ЦЗБ підвищує біологічну цінність виробу (вітаміни, клітковина), а ГО збагачує його ненасиченими жирними кислотами та подовжує термін свіжості.

Оскільки кінетика бродіння тіста закладає фундамент фізичних характеристик готової здоби, наступним етапом дослідження є визначення впливу обраних інгредієнтів на кінцеві фізико-хімічні показники якості випечених виробів (пасок).

3.2 Оцінка впливу компонентів рецептури на фізико-хімічні показники нових здобних виробів

3.2.1 Дослідження титрованої кислотності дослідних виробів за використання цільнозернового борошна та гірчиної олії

Аналіз показників титрованої кислотності розроблених здобних виробів (табл. 2.5) дозволив встановити наступне:

1. Відповідність нормативним вимогам. Згідно з правилами математичного округлення результатів (відповідно до ДСТУ/методики вимірювань), усі дослідні зразки мають ідентичний показник кислотності — 2,5 °Н. Це свідчить про те, що внесення до 25 % ЦЗБ та заміна частини ВМ на ГО у складі рецептури не призводять до виходу показника кислотності за межі, встановлені для здобних борошняних виробів. Це гарантує стабільність якості та традиційний смаковий профіль продукту.

2. Вплив компонентів (за фактичними даними). Попри однакові округлені результати, аналіз фактичних значень (у діапазоні 2,3–2,6 °Н) дозволяє простежити технологічні закономірності:

- стабілізувальна роль ГО: у зразках з додаванням ГО (№ 2, № 3, № 7) спостерігається тенденція до незначного зниження фактичної кислотності (до 2,3–2,4 °Н) відносно контролю (№1к — 2,5 °Н). Це пояснюється антисептичними властивостями ГО, що стримують активність мікрофлори;

- вплив дозування ЦЗБ: найвище значення зафіксовано у зразку № 4 (2,6 °Н), де 20 % ЦЗБ максимально стимулюють біохімічні процеси. Проте у зразку № 5 (25 % ЦЗБ) спостерігається утримання показника на рівні 2,5 °Н, що вказує на певну стабілізацію кислотонакопичення. Це, ймовірно, зумовлено пригніченням життєдіяльності мікрофлори фітиновою кислотою або механічним впливом частинок оболонки зерна при їх високій концентрації;

- роль жирової фази при ідентичному вмісті борошна: порівняння зразків № 6 (2,4 °Н) та № 3 (2,4 °Н) свідчить про те, що при 15 % вмісті ЦЗБ заміна ВМ на ГО дозволяє зберегти стабільний рівень кислотності, забезпечуючи чистоту смакового профілю.

Таким чином, однаковий підсумковий результат (2,5 °Н) для всіх зразків при різних фактичних значеннях зумовлений встановленим кроком округлення (0,5 °Н). Це підтверджує, що розроблені композиції мають високу буферну ємність і є технологічно стійкими, оскільки варіації складу сировини не викликають різких коливань кислотності, що могли б негативно вплинути на органолептику випечених виробів.

3.2.2 Вплив рецептурних інгредієнтів на питомий об'єм нових здобних виробів

Дані, представлені в табл. 3.2, дозволяють оцінити, як заміна традиційних жирів та введення ЦЗБ впливають на фізичну структуру готового виробу.

Таблиця 3.2 – Вплив складу рецептури на питомий об'єм здобних виробів (1к–7)

№зразка	Склад (ЦЗБ / ГО)	Питомий об'єм, см³/г	Зниження відносно контролю, %
1к	Контроль (0/0)	4,6	0
3	15 % ЦЗБ / 15 % ГО	3,7	19,57
4	20 % ЦЗБ / 15 % ГО	3,7	19,57
2	0 % ЦЗБ / 15 % ГО	3,5	23,91
7	15 % ЦЗБ / 7,5 % ГО	3,5	23,91
6	15 % ЦЗБ / 0 % ГО	3,4	26,09
5	25 % ЦЗБ / 15 % ГО	3,4	26,09

Питомий об'єм — головний показник «пишності» виробу. У контрольного зразка № 1к він найвищий — 4,6 см³/г: це цілком закономірно, оскільки чисте ПБ в/г має максимальну кількість якісної клейковини, здатної максимально розтягуватися.

Зразки з добавками (№ 3–№ 5): Введення ЦЗБ та ГО знижує об'єм порівняно з контролем (3,4–3,7 см³/г): це є закономірним результатом сумарної дії ефекту розведення клейковини харчовими волокнами ЦЗБ та пластифікуючого впливу тригліцеридів ГО на білковий каркас тіста, що повністю підтверджується даними літератури [18]. Проте зразки № 3 та № 4 виглядають найкраще серед експериментальних (3,7 см³/г): поєднання 15–20 % ЦЗБ та 15 % ГО створює найбільш оптимальну структуру, де олія допомагає утримувати газ, попри наявність висівок. Зразок № 5: падіння об'єму при 25 % ЦЗБ (3,4 см³/г) ще раз доводить, що велика кількість висівок критично перевантажує каркас тіста.

Зразок № 6 (15 % ЦЗБ + 100 % ВМ): питомий об'єм становить 3,4 см³/г. Це найнижчий показник серед зразків із 15 % вмістом ЦЗБ. Відсутність ГО

призводить до того, що ВМ не може повноцінно компенсувати механічний опір висівок. Як наслідок, каркас тіста виявляється занадто жорстким і менш здатним до розширення під час теплової обробки.

Дослідження питомого об'єму зразків № 2, № 6 та № 7 дозволяє оцінити індивідуальний та комбінований вплив ГО та ЦЗБ на формування об'ємних показників здоби.

За показником питомого об'єму зразок № 2 (100 % ПБ в/г + 15 % ГО) (3,5 см³/г) поступається зразку № 3 (3,7 см³/г), що можна пояснити ефектом структурної стабілізації. У зразку № 2 введення 15 % рідкої олії призводить до надмірної пластифікації клейковинного каркаса («розрідження» тіста), що погіршує його здатність утримувати вуглекислий газ під час випікання. У зразку № 3 частинки ЦЗБ виступають у ролі «абсорбенту» та структурного наповнювача. Вони частково зв'язують вільний жир та вологу, запобігаючи надмірному розслабленню тіста. ГО, обволікаючи гострі частки висівок, нівелює їхній механічний вплив на клейковину, водночас висівки надають тісту необхідну «жорсткість» (опір), якої бракувало зразку № 2. Таким чином, поєднання 15 % ЦЗБ та 15 % ГО створює композиційний синергізм, де негативні чинники кожного компонента (надмірна м'якість олії та грубість висівок) взаємно компенсуються, формуючи стійкий пористий каркас.

Зразок № 7 (15 % ЦЗБ + 7,5 % ГО): показник питомого об'єму становить 3,5 см³/г. Введення навіть невеликої кількості ГО (7,5 %) дозволило покращити об'єм порівняно зі зразком № 6, піднявши його до рівня зразка № 2. Це підтверджує високу ефективність ГО як пластифікатора: навіть при половинному дозуванні вона допомагає тісту з висівками досягти об'єму, аналогічного зразку № 2 (з ПБ в/г з вмістом ГО).

Вищенаведене порівняння показує, що найменш ефективним у контексті об'єму є використання ЦЗБ без рідкої жирової фази (зразок № 6). ГО виступає необхідним компонентом для «розкриття» потенціалу композитних сумішей, причому збільшення її частки з 7,5 % (№ 7) до 15 % (№ 3) демонструє стійку

динаміку покращення фізичних параметрів пасочної здоби. Зразок № 7 є раціональним варіантом, але зразок № 3 залишається найбільш ефективним.

Візуалізацію ступеня впливу досліджуваних інгредієнтів на фізичні параметри виробів наведено на рис. 3.3. Для порівняльної оцінки за базову лінію (0 %) прийнято показник питомого об'єму контрольного зразка № 1к (4,6 см³/г).

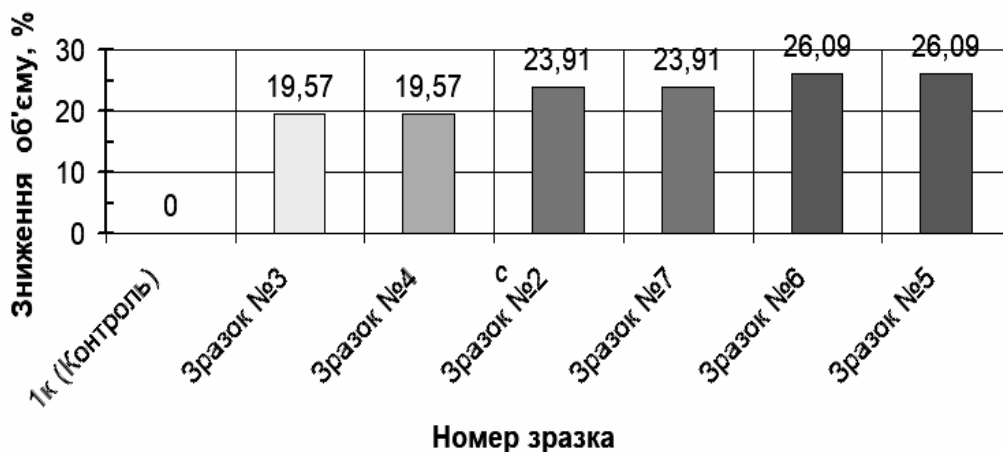


Рисунок 3.3 – Ступінь зниження питомого об'єму дослідних зразків пасочної здоби відносно контролю, %

Аналіз отриманих даних дозволив встановити наступні закономірності:

1. Ефективність гірчиної олії як компенсатора: Попри введення 15 % ЦЗБ, зразок № 3 продемонстрував мінімальне зниження об'єму — 19,57 %. Це підтверджує, що заміна 15 % рецептурної кількості ВМ на ГО (що становить 3 кг на 100 кг борошна) максимально ефективно нівелює деструктивний вплив висівок на клейковинний каркас. Порівняно зі зразком № 6 (з традиційним ВМ), використання ГО дозволяє компенсувати 6,52 % втрат об'єму. Це якісно узгоджується з позитивним впливом олій (2 кг на 100 кг борошна) на питоми об'єм та пористість пшеничного хліба [103].

2. Виявлення ефекту структурної стабілізації: Характерним є те, що зразок № 3 (15 % ЦЗБ + 15 % ГО) показав кращі результати, ніж зразок № 2 (без висівок, лише 15 % ГО), де втрата об'єму склала 23,91 %. Це пояснюється тим, що у зразку № 2 рідка олія викликає надмірну пластифікацію клейковини, тоді як у зразку № 3 частинки висівок виступають адсорбентом вільного жиру та «структурним армуванням», що стабілізує пористу структуру тіста.

3. Концентраційна залежність: Зменшення частки ГО вдвічі (зразок № 7, 7,5 % олії) призводить до збільшення втрат об'єму до 23,91 % (додаткова втрата ~4,3 % порівняно з № 3). Таке дозування може бути рекомендоване для оптимізації собівартості продукції за умови допустимого зниження пишності.

4. Технологічна межа насичення: При збільшенні частки ЦЗБ до 25 % (зразок № 5) втрати об'єму сягають 26,09 %, що ідентично показникам зразка № 6 (15 % ЦЗБ без олії). Це свідчить про те, що при такому високому вмісті периферійних частин зерна їх механічний вплив на каркас тіста повністю нівелює технологічні переваги жирових добавок.

Найбільш раціональним з точки зору збереження об'ємних показників є зразок № 3. ГО виступає необхідним компонентом для «розкриття» потенціалу композитних сумішей, створюючи синергію з ЦЗБ та забезпечуючи формування розвиненої пористої структури.

3.2.3 Аналіз пористості м'якуша пасочних виробів композитного складу

Аналіз показників пористості м'якуша (табл. 2.5) дозволяє простежити наступні закономірності:

- Еталонне значення (зразок № 1к): контрольний зразок продемонстрував найвищу пористість — 83 %. Це зумовлено використанням виключно ПБ в/г, що забезпечує формування максимально розвиненого та легкого клейковинного каркаса.

- Вплив гірчиної олії на чисте борошно (зразок № 2): при заміні 15 % ВМ на ГО у зразку без додавання висівок спостерігається зниження пористості до 77 % (77,3 %). Це підтверджує, що рідка фаза олії суттєво розслаблює клейковину; що у безвисівковому середовищі призводить до формування більш дрібної, але менш об'ємної структури пор.

- Оптимізація композицій (зразки № 3 та № 4): Зразок № 3 продемонстрував найвищу серед дослідних зразків пористість — 80,7 %. Встановлено, що сумісне введення 15 % ЦЗБ та ГО забезпечує вищий рівень розвитку пористості (80,7 %), ніж ізольоване використання олії у зразку № 2 з ПБ в/Г (77,0 %). Це експериментально доводить наявність ефекту синергізму між компонентами: тригліцериди ГО виступають пластифікаторами клейковинної матриці, компенсуючи механічний тиск оболонок, тоді як ендогенний ферментативний комплекс та мінеральні речовини ЦЗБ інтенсифікують біохімічні процеси бродіння та газоутворення дріжджів. У зразку № 4, попри збільшення частки ЦЗБ до 20 %, показник пористості залишається на стабільно високому рівні — 79,5 %. Це свідчить про збереження оптимальних реологічних властивостей (еластичності та пружності) тіста за рахунок стабілізуючої дії ліпідів ГО та високої газоутримувальної здатності напівфабрикату на етапі вистоювання.

- Порівняння за жировим компонентом (зразки № 6 та № 7): у зразку № 6 без ГО пористість нижча — 79 % (78,6 %), ніж у зразку № 3, що доводить роль олії у розвитку структури. У зразку № 7 при зменшенні дози ГО до 7,5 % пористість падає до 77 % (77,4 %). Недостатня концентрація пластифікатора (ГО) не дозволяє повноцінно розвинути газоутримувальну здатність тіста з висівками. Це робить 15 % дозування ГО технологічним оптимумом.

- Критична межа (зразок № 5): При збільшенні частки ЦЗБ до 25 % показник пористості закономірно знижується до 77,4 %. Це свідчить про те, що надмірна кількість висівкових частинок механічно перевантажує білково-протеїназний комплекс тіста, нівелюючи пластифікуючий та поверхнево-активний позитивний вплив ГО. Внаслідок деструкції клейковинного каркаса та зниження газоутримувальної здатності напівфабрикату, газові комірки зливаються, що призводить до формування більш щільного м'якуша із товстостінною структурою пор.

3.2.4 Проведення комплексної оцінки впливу розроблених композитних сумішей на якість пасочної здоби

Для узагальнення отриманих даних та проведення комплексної оцінки впливу розроблених композитних сумішей на якість пасочної здоби було побудовано профілі якості (рис. 3.4–3.6). Метод графічного профілювання дозволяє наочно зіставити розбіжності між фізико-хімічними показниками дослідних зразків та еталонним контролем у відносних одиницях (% до контролю).

Вплив типу жиру за сталого вмісту ЦЗБ (15 %) у композитних сумішах на профіль якості розроблених здобних виробів (№ 1к, № 3, № 6) візуалізовано на діаграмі (рис. 3.4), яка наочно доводить перевагу ГО над ВМ. Аналіз отриманої профілограми свідчить про високу технологічну ефективність розробленої рецептури зразка № 3 (15 % ЦЗБ та 15 % ГО). За геометричною конфігурацією його профіль максимально наближений до контрольного зразка № 1к, що вказує на гармонійне поєднання компонентів. Зокрема, показник пористості становить 97,2 % від еталона, що є високим результатом для виробів із використанням продуктів переробки цільного зерна.

Водночас профіль зразка № 6 (без вмісту ГО) демонструє суттєву асиметрію саме за віссю питомого об'єму, оскільки за кислотністю та пористістю відхилення менш критичні. Це ще більше акцентує на ролі ГО як «структуроутворювача». Спостерігається виражене «просідання» за віссю питомого об'єму (до 73,9 % від контролю). Це візуально підтверджує раніше висунуту гіпотезу про те, що саме ГО виступає ключовим чинником стабілізації структури пасочної здоби при внесенні ЦЗБ.

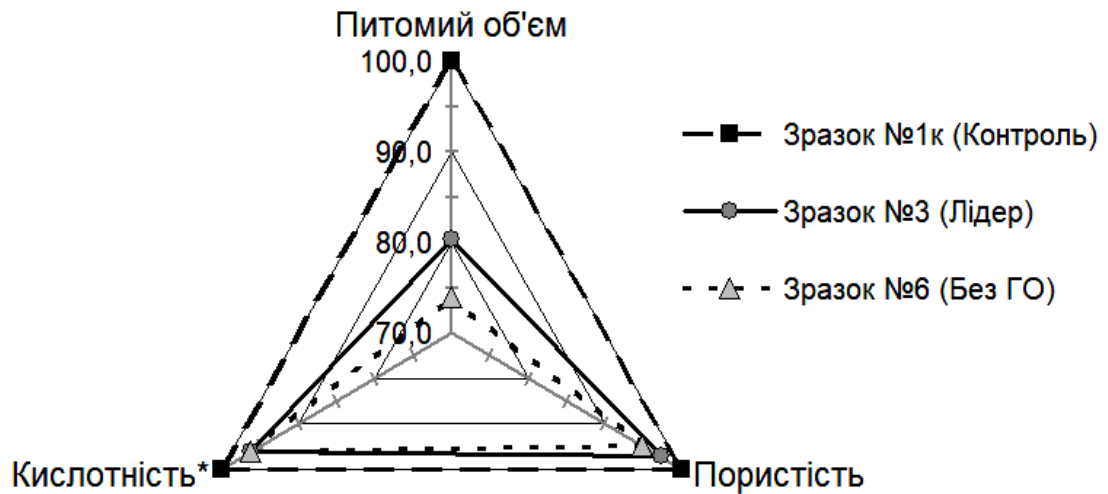


Рисунок 3.4 – Профіль якості розроблених здобних виробів (№ 1к, № 3, № 6) за комплексом фізико-хімічних показників, % до контролю

Примітка. Показники контрольного зразка № 1к прийняті за 100 %

Таким чином, комплексна оцінка підтверджує, що заміна 15 % ВМ на ГО дозволяє нівелювати негативний вплив висівок на фізичні показники якості, забезпечуючи отримання виробу, який за своїми характеристиками максимально наближений до традиційної пасочної здоби з ПБ в/г. Площа профілю зразка № 3 на 7,2 % більша за площу зразка № 6, що математично підтверджує вищу сукупну якість виробу при використанні оптимального дозування ГО.

Проаналізуємо, як поступове збільшення частки ЦЗБ (від 15 % до 25 %) при сталій кількості ГО (15 %) змінює якісні характеристики виробу. Ця діаграма (рис. 3.5) візуалізує «межу міцності» нашої рецептури.

Зразки № 3 та № 4 ідентичні за питомим об'ємом (80,4 % від контролю), що свідчить про стабільність системи до 20 % ЦЗБ. Проте на зразку № 5 (25 % ЦЗБ) бачимо різке просідання до 73,9 %. Зі збільшенням дози ЦЗБ спостерігається плавне, але впевнене зниження пористості: 97,2 % → 95,8 % → 93,3 %. Це ідеально демонструє, як висівки поступово ущільнюють м'якуш.

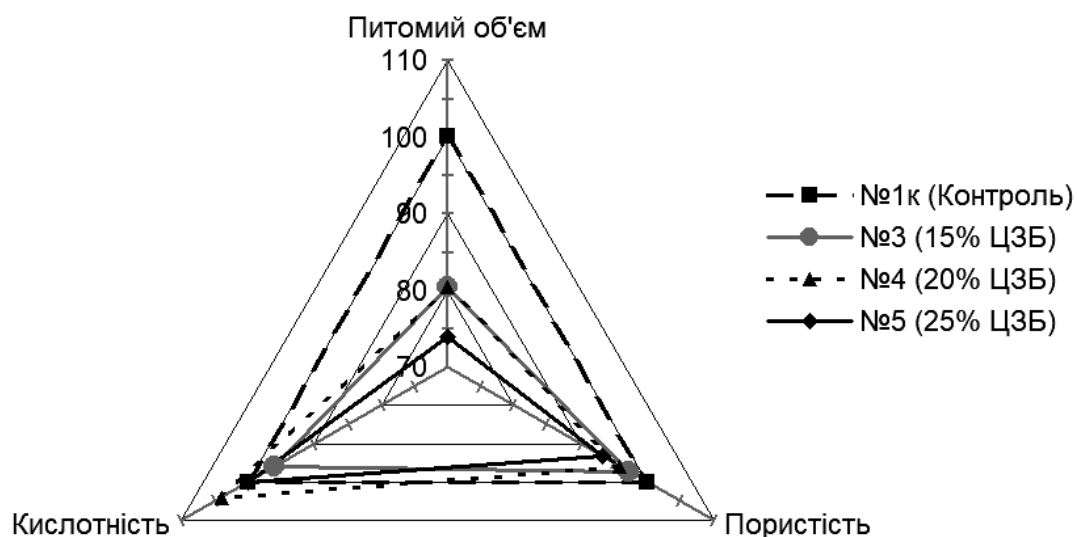


Рисунок 3.5 – Профіль якості розроблених здобних виробів (№ 1к, № 3–№ 5) за комплексом фізико-хімічних показників, % до контролю

Примітка. Показники контрольного зразка № 1к прийняті за 100 %

Кислотність — це найцікавіший кут «пелюстки»: зразок № 4 виходить за межі контролю (104 %), показуючи пік активності ферментів. Зразок № 5 повертається до 100 % (рівень контролю), що підтверджує наше спостереження про пригнічення бродіння при 25 % висівок.

Таким чином, пелюсткова діаграма зазначеної групи зразків (рис. 3.5) демонструє кінетику зміни показників якості при нарощуванні частки ЦЗБ. Встановлено, що при дозуванні 20 % ЦЗБ (зразок № 4) система зберігає високі показники об'єму та пористості завдяки компенсаторній дії ГО. Проте подальше збільшення вмісту висівок до 25 % (зразок № 5) призводить до критичного стиснення профілю якості за всіма осями, що визначає межу раціонального використання ЦЗБ у цій рецептурі.

Для третьої групи (зразки № 1к, № 3, № 6, № 7) проаналізуємо, як поступове введення ГО (від 0 % до 15 %) при незмінній кількості ЦЗБ (15 %) «розправляє» профіль якості виробу. Ця діаграма на рис. 3.6 є фінальним доказом того, що саме 15 % ГО є технологічним оптимумом.

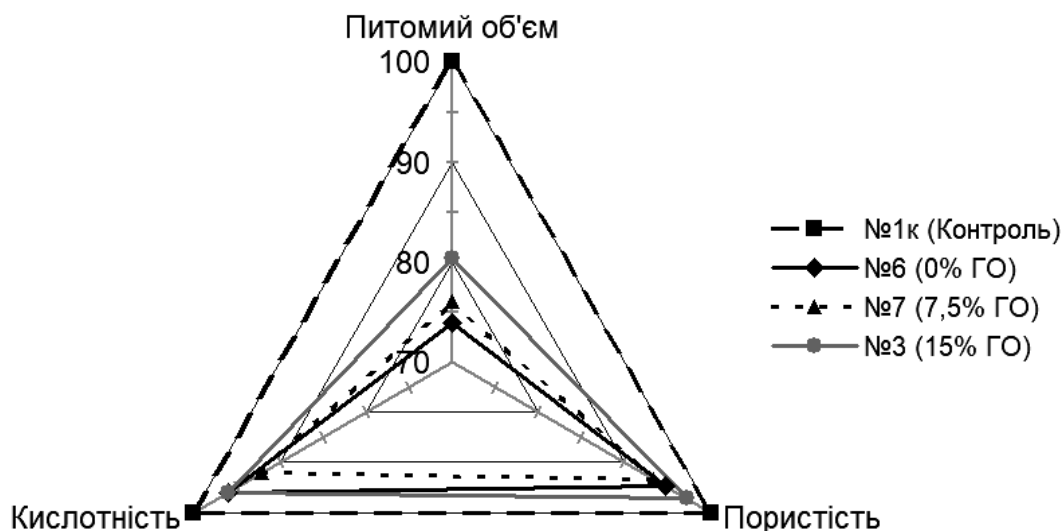


Рисунок 3.6 – Профіль якості розроблених здобних виробів (№ 1к, № 3, № 6, № 7) за комплексом фізико-хімічних показників, % до контролю

Примітка. Показники контрольного зразка № 1к прийняті за 100 %

Спостерігається чітка висхідна динаміка зростання питомого об'єму: 73,9 % $\rightarrow$ 76,1 % $\rightarrow$ 80,4 %. Кожен крок додавання олії реально збільшує пишність паски. Простежується цікавий момент з пористістю: зразок № 7 (7,5 % ГО) має невелике просідання (93,3 %), але при досягненні 15 % ГО (зразок № 3) пористість різко зростає до 97,2 %, майже наздоганяючи білий хліб. Це свідчить про те, що 7,5 % олії недостатньо для повної пластифікації каркаса з висівками. Зразок №7 показав найнижче значення кислотності — 92,0% від контролю, що підтверджує антисептичну дію ГО навіть у малих дозах. Повернення зразка № 3 до рівня 96 % свідчить про гармонізацію процесів бродіння при оптимальному дозуванні.

Таким чином, графічний аналіз даної групи (рис. 3.6) ілюструє динаміку відновлення якісних характеристик пасочної здоби залежно від концентрації ГО. Встановлено, що мінімальне дозування ГО (7,5 %) не забезпечує достатньої еластичності м'якуша (пористість залишається на рівні 93,3 % від контролю). Лише при збільшенні частки ГО до 15 % (зразок № 3) спостерігається синергетичний ефект, який дозволяє максимально наблизити профіль якості

композитного виробу до еталонного показника контролю за всіма досліджуваними параметрами.

3.3 Вплив рецептури та умов випікання на усушку. Дослідження критичних термінів збереження структурно-механічних властивостей

Порівняння різних зразків нового здобного виробу за усушкою (втратою води та маси виробом під час зберігання) дозволяє визначити, яка рецептура найкраще утримує вологу і довше залишається свіжою. Результати, які представлено в табл. 2.6 та на рис. 3.7, дають цікаву картину впливу інгредієнтів та режимів випікання на якість нового виробу. Найбільш показовим є порівняння динаміки втрати води між зразками.

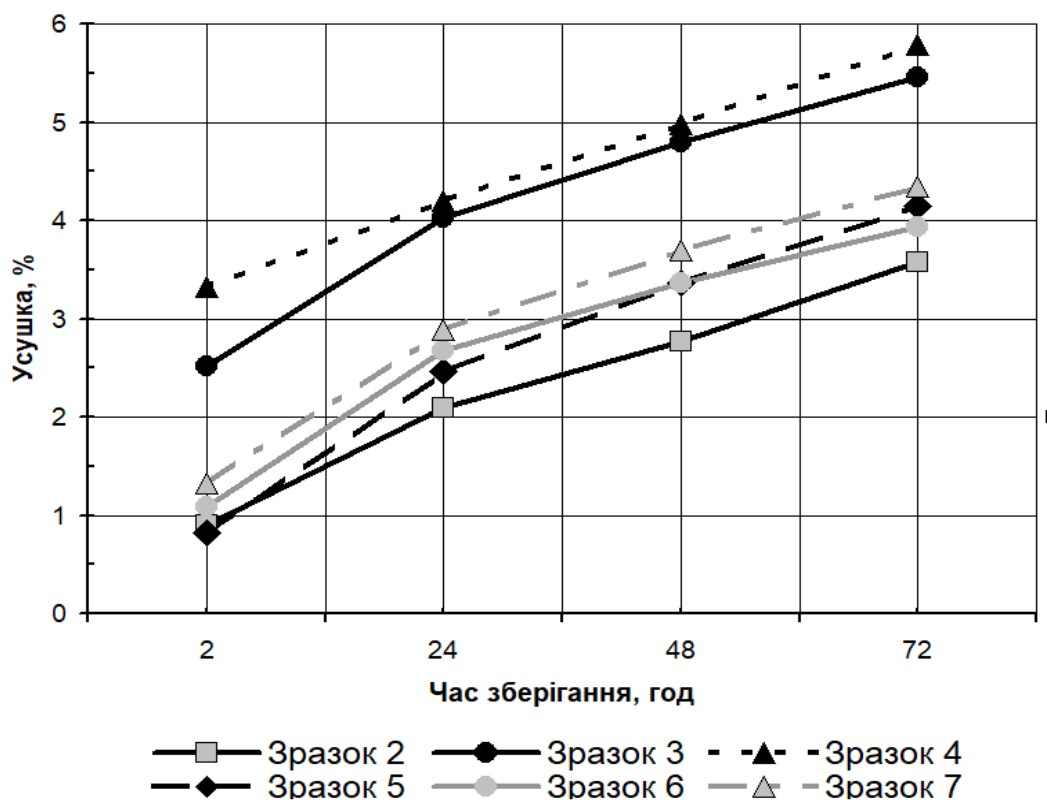


Рисунок 3.7 – Динаміка усушки дослідних зразків нового виробу протягом 72 год зберігання

Як видно з рис. 3.7, найбільш інтенсивна втрата маси у всіх зразків спостерігається у перші 24 год зберігання. Після 48 год швидкість усушки зазвичай стабілізується (лінії стають більш пологими).

Найкраще збереження вологи демонструє зразок № 2: він має мінімальну початкову усушку (0,9 % через 2 год) та один з найнижчих фінальних показників. Найбільша інтенсивність усушки властива зразку № 4, який показує найвищі показники втрати маси протягом усього періоду (до 5,79 % через 72 год). Зразки з вмістом ГО (№ 3, № 7) характеризуються плавним характером кривих, що свідчить про стабілізацію вологи в структурі м'якуша. Попри вище положення кривої усушки для зразка № 3, його структурно-механічні властивості (див. далі про крихкуватість) залишаються найкращими серед усіх дослідних зразків.

Незважаючи на те, що класична технологія здобних виробів (зокрема за працями В. І. Дробот) вважає парозволоження надлишковим у разі попереднього оброблення напівфабрикатів льезоном [96], у нашому дослідженні поєднання цих двох чинників у зразку № 2 зумовило виражений синергетичний ефект. Подача пари у перші 5 хв випікання за помірної температури (185–190 °C) запобігала передчасній термокоагуляції білків льезону та дегідратації поверхневого шару купола. Це дозволило сформувати вискоеластичний ліпідно-білковий матрикс, інтегрований із клейстеризованим крохмалем поверхні тіста, без утворення мікротріщин під час інтенсивного пекарського підйому.

Оскільки після вилучення пасок із форм через 20–25 хв після випікання вироби зберігалися у відкритому безформовому просторі, динаміка втрати вологи визначалася дифузійними властивостями їхньої поверхні. Сформована під впливом пари та льезону суцільна, гладка плівка (глянець) на куполі зразка № 2 після охолодження виконувала функцію ефективного гідрофобного бар'єра. Вона заблокувала висхідний потік вологи, що прямував із центру м'якуша під дією градієнта температур, тоді як у зразках без парозволоження (зокрема № 3 та № 4) верхня скоринка купола зазнала мікроструктурних

руйнувань під час росту і слугувала основним каналом десорбції вологи. Це суттєво уповільнило дифузію вологи з усього об'єму виробу в навколишнє середовище, що безпосередньо обумовило найменший показник усушки у зразку № 2 (3,58 % за 72 год зберігання).

Порівняння зі зразком № 3 (табл. 2.6): при вищій температурі (200 °C) та без пари усушка зросла майже в 1,5 раза (5,46 %). На поверхні паски миттєво утворюється жорстка, пориста та "суха" скоринка. Вона не є герметичною. Навпаки, через високу температуру в м'якуші створюється високий тиск пари, який буквально "прошиває" цю скоринку мікротріщинами. Після випікання через ці канали волога продовжує стрімко виходити. Це об'єктивний доказ того, що режим випікання важить не менше, ніж склад.

Попри те, що усушка зразка № 3 є вищою порівняно зі зразком № 2, сухий двостадійний тепловий режим є технологічно виправданим. Він забезпечує швидку фіксацію форми високогустого тіста у паперовій капсулі. Втрата вільної вологи при цьому повністю компенсується на мікрорівні високою когезійною здатністю м'якуша завдяки ліпідам гірчиної олії.

Зразок № 4 має найвищу усушку через 72 год (5,79 %) (рис. 3.7). Це є наслідком поєднання високого вмісту ЦЗБ (20 %) та інтенсивного виведення вільної вологи за умов сухого термічного оброблення.

Цікава аномалія спостерігається у зразка № 5: при максимальному вмісті ЦЗБ (25 %) бачимо найбільший упік (16,33 %) (табл. 2.6), але досить низьку подальшу усушку (4,14 %) (рис. 3.7). Можна заключити, що велика кількість висівок у ЦЗБ інтенсивно віддає вологу в печі (високий упік), але потім дуже міцно утримує залишки зв'язаної вологи під час зберігання. Проте загальні втрати маси у № 5 все одно високі.

Порівняння жирового компонента (ВМ та ГО) — зразки № 6 та № 7 (рис. 3.7): № 6 (з ВМ) стабільніший за № 7 (з додаванням олії). Слід звернути увагу на температуру всередині виробу: у № 6 вона найвища (95,7 °C, табл. 2.3), що свідчить про найкращу пропеченість та формування стабільного крохмального клейстеру, який краще «запечатує» вологу всередині пор.

Загальний рейтинг за критерієм зберігання свіжості виглядає наступним чином: зразок № 2 — найкращий за рахунок парозволоження та чистого ПБ в/г; зразок № 6 є найкращим серед зразків з ЦЗБ, завдяки ВМ; зразок № 5 — компромісний варіант: багато клітковини, але великий упік.

Таким чином, для здобних виробів композитного складу критично важливим є не парозволоження, а точне дотримання двостадійного температурного графіка ($200\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 180\text{ }^{\circ}\text{C}$). Це дозволяє сформувати стійкий каркас у паперовій формі, тоді як свіжість м'якуша на 12-ту добу (2,38 % крихкуватості) гарантується саме введенням 15 % ГО.

Теза про те, що ГО подовжує свіжість, є науково обґрунтованою, але вона працює на мікрорівні (структурно-механічному), а не на макрорівні (втрата ваги). Усушка — це просто втрата грамів води. Свіжість (черствіння) — це процес ретроградації (старіння) крохмалю. ГО містить багато ненасичених жирних кислот, які обволікають молекули крохмалю, заважаючи їм кристалізуватися (черствіти). Тобто: паска з олією може втратити більше грамів води (усушка), але при цьому її м'якуш залишатиметься м'якшим на дотик довше, ніж у паски без олії. Рецептурні переваги ГО як потужного стабілізатора свіжості найбільш повно реалізуються за умов оптимізованого двостадійного температурного режиму випікання ($200\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 180\text{ }^{\circ}\text{C}$), який забезпечує швидку фіксацію об'єму виробу без погіршення кінцевих структурно-механічних властивостей м'якуша.

Навіть якщо усушка (втрата ваги) у зразка № 3 була великою, тест на крихкуватість може показати, що структура залишилася цілісною: це означає, що вода пішла, але білково-крохмальний каркас не став «крихким склом», а залишився еластичним завдяки олії.

З огляду на специфіку рецептурного складу (вміст ЦЗБ та ГО), термін контролю крихкуватості було подовжено до моменту повної стабілізації структури, що дозволило об'єктивно оцінити ефект гальмування процесів черствіння.

Додаткове дослідження крихкуватості зразків на 7–12 добу зберігання (табл. 2.7) підтвердило, що використання ГО у поєднанні з ЦЗБ дозволяє подовжити термін придатності виробів понад встановлені нормативи для здобної випічки.

Так, зразок № 3, будучи найстаршим (12 днів), продемонстрував найнижчу крихкуватість — 2,38 %. Для порівняння: зразок № 6 (без олії), який вдвічі молодший (всього 6 днів), кришиться у 4,5 раза сильніше (10,73 %). Це дозволяє зробити висновок, що ГО у поєднанні з 15 % ЦЗБ діє як потужний інгібітор черствіння. Вона не просто «зберігає» виріб, вона робить його структуру стійкою до руйнування навіть при значних втратах вологи.

Заміна лише 7,5 % масла на олію (зразок № 7) дозволила знизити крихкуватість з 10,73 % до 5,01 %. Це прямий доказ того, що рідкі рослинні жири перешкоджають ретроградації крохмалю набагато ефективніше за тверді тваринні жири.

Зразки з вищим вмістом ЦЗБ (№ 4 та № 5) показали вищу крихкуватість (~ 6,5–6,7 %) порівняно з № 3. Це пояснюється тим, що висівкові частинки механічно послаблюють білковий каркас тіста. Проте, навіть вони кришаться менше, ніж «чистий» вершковий зразок № 6, що знову ж таки свідчить про позитивний вплив 15 % ГО у їхньому складі.

Аналіз характеру кришення м'якуша дослідних зразків дозволив виявити суттєві відмінності в їхній когезійній здатності (внутрішній зв'язності).

У зразку № 6 (контроль на ВМ) утворена крихта мала переважно дрібнодисперсний, «пилоподібний» характер. Це свідчить про глибоку ретроградацію крохмалю та повну втрату еластичності білково-крохмальних зв'язків, які при механічному впливі руйнуються до елементарних часток.

Натомість у зразку № 3 (15 % ЦЗБ + 15 % ГО), попри тривалий термін зберігання (12 діб), спостерігалася принципово інша морфологія кришення. Утворена крихта була представлена поодинокими крупними фрагментами м'якуша, що зберегли пружність. Це є прямим доказом того, що структура

зразка № 3 залишилася цілісною, а білкова сітка, пластифікована ГО, зберегла здатність до деформації без руйнування навіть за умов значної втрати вологи.

Такі органолептичні та механічні спостереження повністю корелюють із кількісними показниками табл. 2.7, підтверджуючи роль ГО як потужного структурного стабілізатора.

Таким чином, попри те, що зразок № 3 характеризувався вищою інтенсивністю усушки, дослідження крихкуватості на 12-ту добу зберігання довело його найвищу структурну стабільність (2,38 %). Це підтверджує, що додавання 15 % ГО забезпечує тривале збереження еластичності м'якуша, що є ключовим показником свіжості для споживача, попри природну втрату маси виробу. Тут діє «ефект гірчиної олії»: ненасичені жирні кислоти олії утворюють стійкі комплекси з амілозою крохмалю, сповільнюючи його кристалізацію (ретроградацію). Втрата маси (усушка) була переважно за рахунок вільної вологи, тоді як зв'язана волога та жирова фаза зберегли пластичність білково-крохмального каркаса.

Органолептична оцінка зразків нової рецептури (ЦЗБ + ГО) наприкінці терміну зберігання (6–12 діб) (стискання пальцями) підтвердила високий ступінь збереження пружно-еластичних властивостей м'якуша. Встановлено, що первинна деформація стискання має переважно пружний характер, що свідчить про стабільність колоїдної структури виробу, попри тривалу усушку.

Паска за даною рецептурою — це продукт із високим потенціалом збереження свіжості. Вона може втрачати вагу (усушка), але завдяки введенню ГО та оптимізованому двостадійному тепловому режиму (як у зразку № 3) вона залишається цілісною, пружною та смачною набагато довше за стандартні 72 год, зберігаючи високу якість м'якуша аж до 12 діб.

Таким чином, комплексне обговорення отриманих даних дозволяє стверджувати: попри природну інтенсифікацію усушки у зразках із вмістом ЦЗБ, додавання ГО (7,5–15 % до маси жиру) забезпечує тривале збереження свіжості. Найнижчий показник крихкуватості зразка № 3 (2,38 % на 12-ту добу)

на фоні стабільних фізико-хімічних показників підтверджує доцільність використання даної рецептури для виробів із подовженим терміном реалізації.

3.4 Органолептична оцінка пасочних виробів композитного складу

Органолептичний аналіз є вирішальним етапом оцінки якості, оскільки він визначає споживчу привабливість розробленого продукту. Комплексний аналіз органолептичних показників дозволив встановити, що розроблені композиції мають високі споживчі властивості, які в окремих аспектах перевершують традиційний еталон (табл. 2.8).

- Зовнішній вигляд та колір: Усі дослідні зразки відрізнялися правильною формою та відсутністю тріщин. Особливу увагу дегустаторів привернули зразки з ГО (№ 2–5, 7), які мали насичене яскравіше забарвлення скоринки. У зразках з додаванням ЦЗБ м'якуш набув приємного «теплого» золотистого відтінку з вкрапленнями частинок зернових оболонки, що надає виробам вигляду автентичної домашньої випічки.

- Текстура та стан м'якуша: Найвищу оцінку за пружність та характер пористості отримав зразок № 3. Встановлено, що поєднання 15 % ЦЗБ та 15 % ГО забезпечує формування тонкостінної рівномірної пористості. У зразках з більшим вмістом висівок (№ 4, № 5) м'якуш був дещо щільнішим, проте він зберігав достатню еластичність і не мав «гливкості», притаманної виробам із цілого зерна без використання рідких рослинних олій.

- Смаковий букет та аромат: Це найбільш виразна перевага розробленої технології. У зразках з ГО аромат був описаний як «глибокий, з пікантними горіховими нотками». Специфічний запах сирі олії під час випікання повністю трансформувався у благородний аромат здоби. Смак зразків № 3–5 характеризувався як збалансований, насичений, з приємним тривалим

післясмаком, що вигідно вирізняло їх на фоні дещо «прісного» смаку контрольного зразка на ПБ в/г.

- Вплив жирового компонента (зразки № 6 та № 3): Порівняння зразка без олії (№ 6) та з олією (№ 3) підтвердило, що ГО діє як смаковий модулятор. У зразку № 6 смак відчувався як більш грубий («трав'янистий» відтінок висівок), тоді як у зразку № 3 олія пом'якшила текстуру висівок, зробивши їх смак органічною частиною загальної композиції.

Для наочного представлення результатів дегустації та встановлення гармонійності органолептичних властивостей було побудовано профілограми за п'ятибальною шкалою (рис. 3.8–3.10). Для більшої чіткості розмежування ліній шкалу діаграм обмежено діапазоном від 4,0 до 5,0 балів.

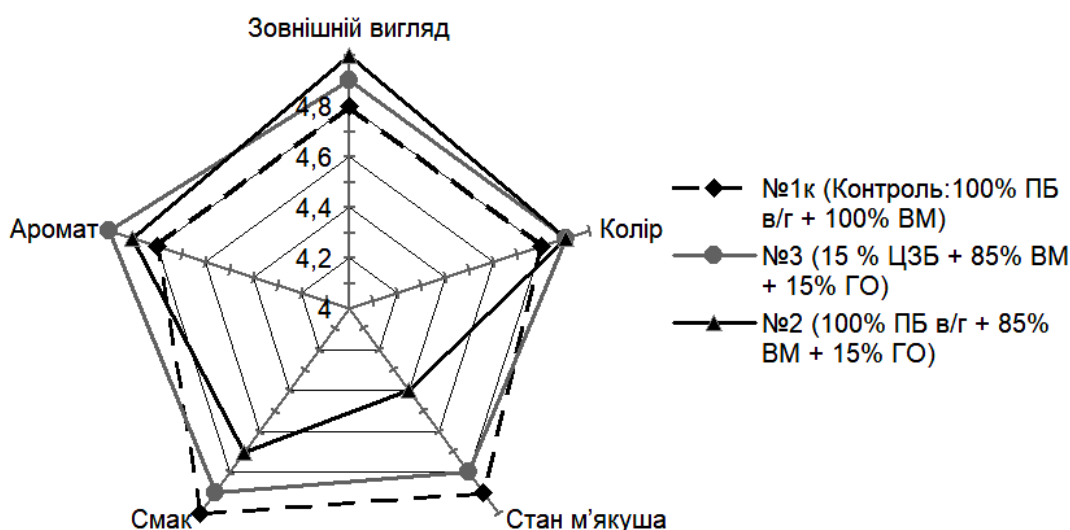


Рисунок 3.8 – Вплив типу жиру на органолептичний профіль пасочної здоби (зразки № 1к, № 2, № 3)

Аналіз профілограми на рис. 3.8 свідчить про високе зближення профілів контрольного зразка № 1к та розробленої композиції № 3. Візуально графічний профіль зразка № 3 практично повністю охоплює площу контролю, при цьому демонструючи розширення за осями "Аромат" та "Колір". Це підтверджує, що синергія ЦЗБ та ГО дозволяє не лише зберегти традиційну якість, а й надати виробу нових, більш виражених сенсорних характеристик. Профіль зразка № 2 (без ЦЗБ) має дещо асиметричну форму з характерним "просіданням" за віссю

стану м'якуша, що візуалізує раніше встановлене розрідження клейковинного каркаса суто жирною добавкою.

Зі збільшенням частки ЦЗБ до 25 % (зразок №5) спостерігається чітка тенденція до звуження профілю (рис. 3.9).

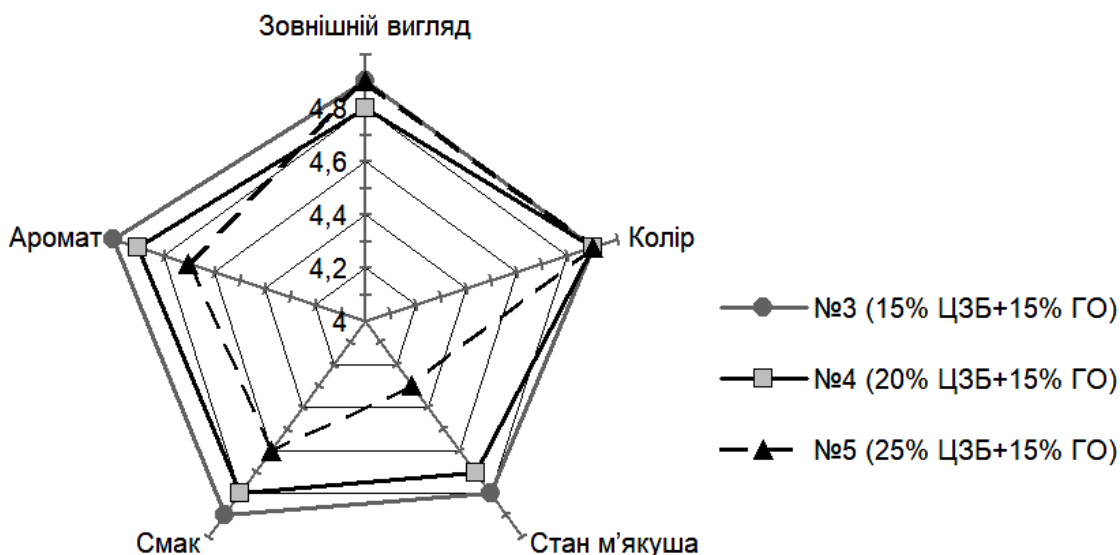


Рисунок 3.9 - Вплив концентрації цільнозернового борошна на гармонійність профілю (зразки № 3, № 4, № 5)

Попри високі бали за зовнішній вигляд, фігура втрачає свою правильну геометричну форму через дефіцит еластичності м'якуша. Найбільш геометрично правильний та розгорнутий профіль зберігається у зразка № 3, що підтверджує його статус технологічного еталона серед розроблених композитних виробів.

Порівняльний аналіз профілів на рис. 3.10 дозволяє простежити динаміку трансформації якості інноваційних виробів при збільшенні концентрації ГО. Профіль зразка № 6 (без ГО) є найбільш "стиснутим" та нерівномірним, особливо за показниками стану м'якуша та смаку, що вказує на незбалансованість даної композиції з ВМ, в якій 15 % ПБ в/г замінено на ЦЗБ. Зростання концентрації ГО у складі інноваційних рецептур (зразки № 7 та в особливості № 3) внаслідок заміни 7,5 % та 15 % ВМ, сприяє «розправлянню» профілю якості.

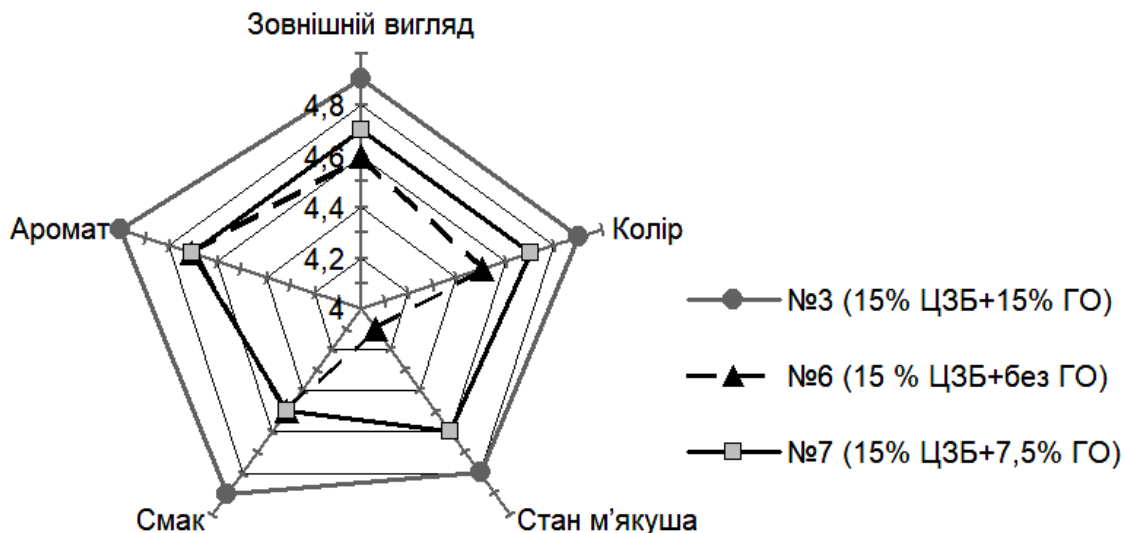


Рисунок 3.10 - Вплив дозування олії на гармонійність профілю (зразки № 3, № 6, № 7)

Таким чином, найкращим за сумою балів (4,90) визначено зразок № 3. Його органолептичний профіль характеризується ідеальним поєднанням традиційної структури пасочного виробу та сучасного функціонального змісту.

3.5 Оцінка харчової та енергетичної цінності розробленої функціональної здоби

За результатами проведених досліджень (табл. 3.3) встановлено, що модифікація рецептури здоби "Травнева" дозволила суттєво оптимізувати її хімічний склад. Спостерігається інтенсифікація накопичення білкових речовин у готовому виробі (зразок № 3) — їх вміст зріс з 4,65 до 6,60 г/100 г, що зумовлено синергетичним ефектом використання ЦЗБ та збагачувального ПКМ знежирених насіння кунжуту, льону, гарбуза та горіхів — кедрового та мигдалю («5 в 1»).

Таблиця 3.3 — Порівняльна характеристика харчової та енергетичної цінності здоби (на 100 г)

Показник	Класична здоба «Травнева» (Контроль)	Модифікована здоба «Травнева» (Зразок № 3)	Абсолютне відхилення, (+/-)	Відносне відхилення, %
Білки, г	4,65	6,60	+1,95	+41,94 %
Жири, г	7,08	9,29	+2,21	+31,21 %
Вуглеводи, г	45,29	40,85	-4,44	-9,80 %
Енергетична цінність, ккал	263	273	+10	+3,80 %

Приріст білка на 41,94 % є головним технологічним досягненням. У класичній здобі з борошна вищого чи першого сорту білок зазвичай «дефіцитний» через рафінацію зерна. Проведена модифікація дозволила наблизитись функціональному виробу (зразок № 3) до категорії продуктів із підвищеною біологічною цінністю.

Попри помірне збільшення загального вмісту жирів на 31,2 %, дана зміна позитивно впливає на біологічну цінність виробу. У класичній здобі жири переважно насичені (тваринні — з ВМ), а у зразку № 3 через часткову заміну (15 %) ВМ на ГО жировий склад став біологічно якіснішим завдяки, насамперед, есенціальним ПНЖК (Омега-3 та Омега-6) та вітаміну Е. Крім того, рослинна олія покращує еластичність м'якуша та уповільнює процес черствіння.

Одночасно зафіксовано зниження вуглеводного навантаження майже на 10 %, що є важливою ознакою функціонального продукту. Важливо наголосити, що зменшилася кількість саме «швидких» вуглеводів (моно- та дисахаридів), тоді як частка складних вуглеводів та харчових волокон (клітковини) збільшилася за рахунок цільного зерна. Це забезпечує нижчий глікемічний індекс удосконаленого виробу.

Завдяки збалансованості макронутрієнтів, енергетична цінність модифікованого зразка (№ 3) зросла лише на 3,8 % (273 ккал проти 263 ккал у контролі), що свідчить про значне підвищення нутрієнтної щільності (кількості

користі на одну калорію) розробленої функціональної здоби і дозволяє зберегти дієтичну привабливість продукту.

Для встановлення відповідності розробленого виробу принципам функціонального харчування було проведено порівняльний аналіз макронутрієнтного профілю модифікованої здоби (зразок № 3) відносно контрольного зразка (рис. 3.11).

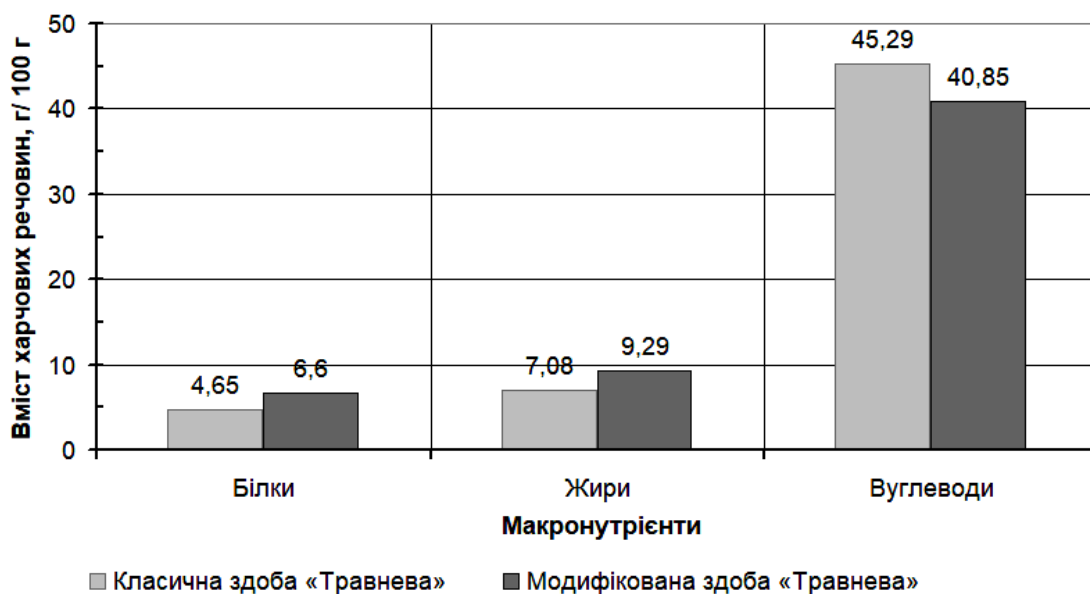


Рисунок 3.11 — Порівняльний аналіз вмісту макронутрієнтів у класичній та модифікованій здобі «Травнева»

Графічна інтерпретація результатів наочно ілюструє суттєві якісні зміни в хімічному складі продукту. У першій групі стовпчиків ("Білки") спостерігається виражене візуальне зростання показника на 41,94 % (з 4,65 до 6,60 г), що підтверджує високу ефективність використання композиту ЦЗБ та білково-насіннєвого міксу "5 в 1".

Динаміка другої групи стовпчиків ("Жири") відображає збільшення загального вмісту ліпідів на 31,21 % (з 7,08 до 9,29 г). На відміну від контролю, де жири представлені виключно насиченими тригліцеридами ВМ, у модифікованому зразку жировий компонент якісно трансформований завдяки введенню нерафінованої ГО — джерела ПНЖК родини Омега–3 та Омега–6.

Група стовпчиків "Вуглеводи" демонструє зниження сумарного вуглеводного навантаження виробу на 9,80 % (з 45,29 до 40,85 г). Таке зниження є наслідком зменшення закладки цукру-піску та часткової заміни рафінованого ПБ в/г на ЦЗБ, що багате на харчові волокна, які уповільнюють гідроліз крохмалю.

Стабільність висоти умовних стовпчиків калорійності, наведена в табл. 3.3 (263 проти 273 ккал), доводить, що за незначного коливання енергетичної цінності (+3,80 %) розроблений зразок № 3 отримав значно вищу нутрієнтну щільність.

3.6 Рекомендації щодо впровадження розробленого виробу у виробництво

На основі проведених комплексних лабораторних досліджень, аналізу фізико-хімічних, реологічних та сенсорних показників якості, для впровадження у хлібопекарську промисловість рекомендовано інноваційну рецептурну композицію зразка № 3 (із заміною 15 % ПБ в/г на ЦЗБ та 15 % ВМ на нерафіновану ГО).

З метою практичної реалізації розроблених рішень та мінімізації технологічних ризиків на виробництві, розроблено практичні рекомендації, апаратно-технологічну послідовність яких у вигляді блок-схеми наведено на рис. 3.12.

Запропонований технологічний процес має низку важливих інженерно-технологічних особливостей, обґрунтованих під час виконання роботи:

1. Параметри замісу та обробки тіста. Приготування тіста здійснюється опарним способом на основі ПБ в/г з дозуванням пресованих дріжджів у кількості 4 % до маси борошна. Це забезпечує форсоване накопичення біомаси та інтенсивне годинне бродіння опари, необхідне для повноцінної гідратації білків і набухання клейковини в умовах «важкої» здобної рецептури. Загальна початкова вологість тіста становить 61,6 %, що є свідомим кроком для

створення максимального фонду зв'язаної вологи, яка стримуватиме усушку м'якуша під час зберігання.

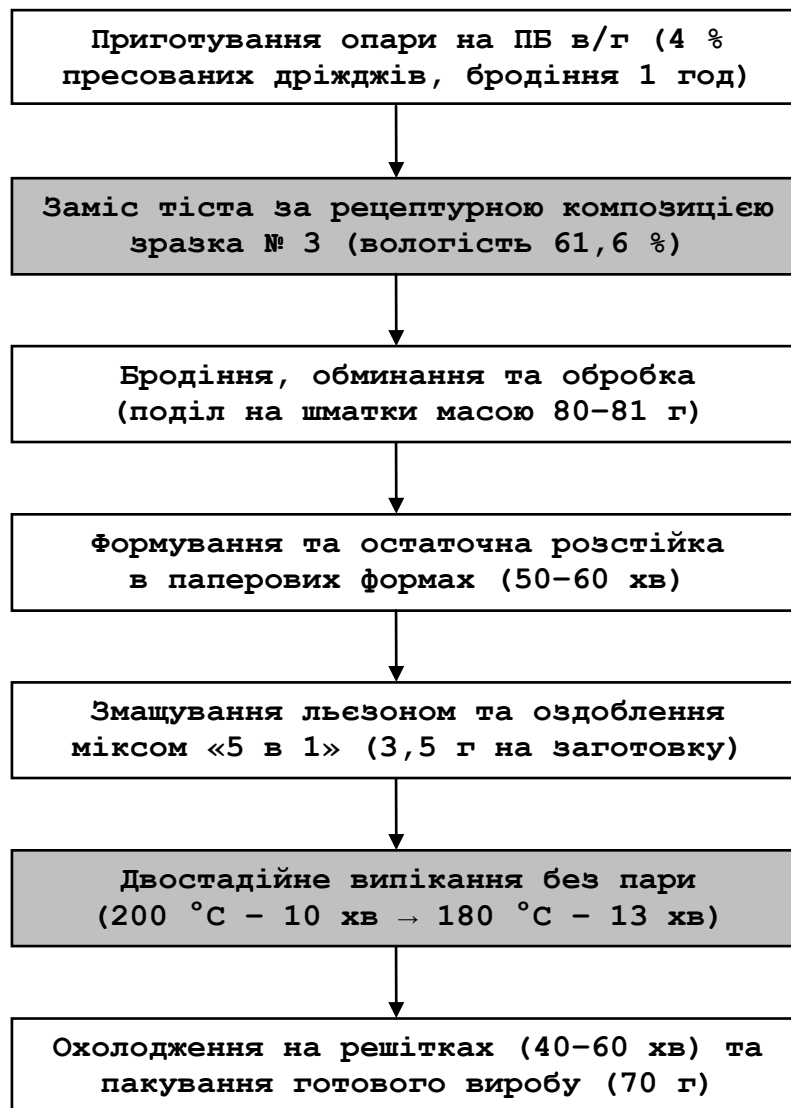


Рисунок 3.12 — Блок-схема технологічного процесу виробництва пасочної здоби подовженого терміну придатності

2. Спосіб формування та розстійка. Висока вологість тіста у поєднанні з реологічним впливом рідкої ГО та механічним послабленням каркаса висівками ЦЗБ обумовлює підвищену плинність тістової маси. Для повного нівелювання деформацій і розпливання виробів обов'язковим є використання формового способу. Округлені заготовки масою 80–81 г поміщають в індивідуальні пасочні паперові форми, де здійснюють остаточне розстійкування впродовж

50–60 хв (за температури 32–36 °С та вологості 75–80 %). Це гарантує спрямований підйом тіста суто вгору та виключає отримання браку за формостійкістю.

3. Оздоблення поверхні. На основі позитивних результатів фінішного декорування скоринки, відпрацьованих під час експерименту, перед посадкою в піч на заготовки наносять традиційний яєчно-молочний льезон та рівномірно розподіляють ПКМ «5 в 1» зі знежиреного насіння та горіхів у кількості 3,5 г (5 % від маси готового виробу). Це не лише забезпечує преміальний товарний вигляд паски, а й суттєво збагачує скоринку рослинним білком та мікронутрієнтами.

4. Двостадійний термічний режим. Випікання виробів у паперових формах здійснюють без застосування парозволоження за чітким двостадійним температурним графіком. Перші 10 хв термообробку ведуть за підвищеної температури 200 °С для інтенсивного теплопідведення, швидкого форсування підйому та термічної фіксації білково-крохмального каркаса в об'ємі паперової капсули. На другій стадії температуру знижують до 180 °С і здійснюють допікання впродовж 13 хв. Саме така тривалість (сумарно 23 хв) гарантує досягнення нормативної температури в центрі м'якуша (94–96 °С), підтверджуючи повну пропеченість здоби.

Впровадження розробленого комплексу рекомендацій (синергія вологоутримувальної системи тіста «ЦЗБ–ГО», захисного паперового каркаса та оптимізованого теплового режиму) дозволяє отримати готову пасочну здобу нормативною масою 70 г із подовженим терміном збереження свіжості та еластичності м'якуша аж до 12 діб зберігання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Характеристика приміщення та умов праці

Охорона праці є невід'ємною складовою організації дослідницького процесу, яка спрямована на створення безпечних і здорових умов для роботи студентів-дослідників та персоналу, а також на запобігання травматизму, профзахворюванням та аваріям.

Експериментальна частина НДР виконувалася в дослідницькій лабораторії кафедри ТПЖ та ХП, яка є інтегрованим науково-виробничим приміщенням, де одночасно здійснюються фізико-хімічні аналізи сировини й напівфабрикатів та випікання дослідних зразків хлібобулочних виробів.

Будівельно-технічні та метеорологічні характеристики приміщення:

- геометричні параметри: довжина приміщення становить $a = 8,5$ м, ширина — $b = 4,9$ м; загальна площа лабораторії складає $S = 41,7$ м², а висота стелі — 3,8 м;

- санітарно-побутове забезпечення: будівля підключена до міської централізованої системи водопостачання та водовідведення (каналізації). Опалення приміщення — центральне водне;

- оформлення приміщення: оскільки в лабораторії проводяться роботи з хімічно активними та агресивними речовинами, покриття стін, стелі, підлоги та робочих поверхонь лабораторних столів виконане з матеріалів, що не адсорбують шкідливі випари та легко піддаються вологому прибиранню й дезінфекції;

- мікрокліматичні умови: згідно з [104], за характером фізичного навантаження робота студента-дослідника відноситься до категорії легкої, а сама лабораторія є приміщенням із незначним надлишком вільного тепла (до 20 ккал·год/м³).

Класифікація приміщення за рівнем небезпеки:

- за ступенем електробезпеки: згідно з ПУЕ [105], лабораторія відноситься до категорії особливо небезпечних приміщень. Це обумовлено постійним використанням змінного електричного струму (частота 50 Гц, напруга 220 В), роботою термічного обладнання в умовах підвищеної вологості та наявністю хімічно активного (агресивного) середовища, яке здатне прискорювати руйнування ізоляції струмопровідних частин приладів;

- за пожежною безпекою: приміщення лабораторії класифікується [106] як категорія В (пожежонебезпечна). Наявність сухих горючих речовин (борошно, крохмаль), використання рослинних жирів та обмеженої кількості легкозаймистих органічних розчинників для аналітичних цілей створює потенційну загрозу виникнення пожежі;

- за станом повітряного середовища: робоча зона потребує постійного контролю через можливість утворення вибухонебезпечних та шкідливих для дихання пилоповітряних сумішей (борошняного пилу), а також виділення парів вологи під час випікання та летких сполук під час проведення хімічних аналізів.

Дана інтегральна характеристика зумовлює необхідність впровадження комплексу розрахункових інженерних рішень (захисного заземлення, локальної вентиляції та штучного освітлення), які детально розглянуто нижче.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час виконання дослідницької роботи в лабораторії на студента безперервно або дискретно впливає комплекс небезпечних та шкідливих виробничих факторів [107]. За походженням вони поділяються на фізичні, хімічні та біологічні.

4.2.1 Фізичні небезпечні та шкідливі фактори

1. Термічна небезпека (висока температура поверхонь та середовища): використання електроплиток, муфельних печей, сушильних термошаф та лабораторних випікальних печей створює ризик отримання серйозних термічних опіків при контакті з гарячими деками, формами чи внутрішніми стінками обладнання. Також існує небезпека опіку гарячою парою при відкриванні розстойних та пекарських камер.

2. Небезпечний рівень напруги в електричній мережі (220 В): експлуатація значної кількості настільних електроприладів в умовах вологості та агресивних середовищ підвищує ризик ураження електричним струмом через пошкодження ізоляції, що за відсутності захисних заходів може призвести до смертельного ураження.

3. Статична електрика: накопичення зарядів на металевих корпусах обладнання під час тертя сухих сипучих продуктів (просіювання, пересипання борошна).

4. Недостатнє або нераціональне освітлення робочої зони: робота з дрібними шкалами лабораторного посуду (бюретки, піпетки) та експрес-приладів в умовах нестачі світла викликає перенапруження зору, зниження концентрації уваги, втому та підвищує загальний ризик травматизму.

4.2.2 Хімічні небезпечні фактори

Основним хімічно небезпечним чинником у процесі оцінки якості сировини та хліба є розчин гідроксиду натрію (NaOH), який використовується для титрування під час визначення кислотності напівфабрикатів та готових виробів.

Вплив на шкіру: NaOH є сильною лужною речовиною (II клас небезпеки, ГДК — $0,5 \text{ мг/м}^3$). При потраплянні на відкриті ділянки шкіри через омилення жирів він проникає глибоко в тканини, викликаючи важкі хімічні опіки (колікваційний некроз), інтенсивний біль, набряки та утворення виразок.

Вплив на очі: потрапляння навіть слабкого розчину лугу в очі є критично небезпечним, оскільки спричиняє набряк рогівки, хімічний опік слизової оболонки та може призвести до повної або часткової втрати зору.

Концентровані мінеральні кислоти: використовуються в обмежених кількостях під час аналітичних досліджень (наприклад, визначення азоту/білка), їхні леткі пари здатні викликати хімічне подразнення верхніх дихальних шляхів.

4.2.3 Біологічні шкідливі фактори

Оскільки дослідницька робота безпосередньо пов'язана з переробкою харчової сировини та життєдіяльністю мікроорганізмів, на студента діють специфічні біологічні фактори хлібопекарського виробництва:

- органічний пил (борошняний пил, ГДК 6 мг/м^3 [108]): тривале перебування у зоні зважування та замісу без ЗІЗ призводить до вдихання дрібнодисперсного пилу борошна. Він діє як потужний алерген, викликає подразнення слизових оболонок дихальних шляхів (риніти, хронічний бронхіт) та може спровокувати специфічне професійне захворювання — «астму пекарів»;

- мікроміцети (плісняві гриби) та бактерії: під час дослідження дефектів хліба або зберігання зразків у камерах з підвищеною вологістю можливий розвиток спорових бактерій (збудників картопляної хвороби хліба) та пліснявих грибів (*Aspergillus*, *Penicillium*). Контакт зі спорами або їх вдихання може викликати мікози та алергічні реакції;

– дріжджові гриби (*Saccharomyces cerevisiae*): активне використання пресованих чи сухих дріжджів при замісі тіста потребує суворого дотримання правил особистої гігієни для запобігання розвитку грибкових подразнень шкіри рук.

4.3 Інженерні рішення щодо забезпечення безпеки

4.3.1 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції

З метою попередження і зменшення шкідливої дії борошняного пилу, вологи, тепловиділень від печей та летких парів хімічних речовин (зокрема, під час роботи з лугами та кислотами), лабораторія обладнана системами природної та штучної вентиляції.

Природна вентиляція здійснюється через віконні прорізи та нещільності в дверях. Штучна вентиляція представлена загальнообмінною системою та локальною вентиляційною установкою — витяжною шафою, в якій проводяться всі операції з агресивними та леткими речовинами.

Проведемо розрахунок місцевої витяжної вентиляції для лабораторної витяжної шафи з метою визначення необхідної продуктивності вентилятора.

Потрібна величина об'ємної швидкості відбору повітря (W , м³/год) розраховується за формулою (4.1):

$$W = S \cdot V \cdot 3600 \quad (4.1)$$

де S — площа нижнього (робочого) перерізу відкритого отвору повітрязаборного пристрою (витяжної шафи), 0,1 м²;

V — лінійна швидкість руху повітря у повітрообмінному пристрої (приймається залежно від токсичності речовин; для робіт із лугами та розчинниками низької токсичності нормативне значення становить 1,0 м/с);

3600 — коефіцієнт перерахунку секундного об'єму повітря в годинний.

Підставивши значення у формулу (4.1), отримуємо потрібну годинну продуктивність установки:

$$W = 0,1 \cdot 1,0 \cdot 3600 = 360 \text{ м}^3/\text{год}$$

Для забезпечення надійного відведення забрудненого повітря з урахуванням втрат тиску в повітропроводах та створення необхідного розрідження, підбираємо вентилятор із запасом продуктивності. Згідно з каталогом промислового обладнання, обираємо радіальний (відцентровий) вентилятор типу ВЦ 4–70 номер 2,5. Даний вентилятор має номінальну продуктивність 1350 м³/год.

$$W_{\text{факт}} = 1350 \text{ м}^3/\text{год} > W_{\text{необх}} = 360 \text{ м}^3/\text{год}$$

Обраний вентилятор повністю задовольняє технологічні та санітарно-гігієнічні вимоги, забезпечуючи ефективне видалення шкідливих речовин із зони дихання дослідника та підтримуючи належну якість повітряного середовища в лабораторії.

4.3.2 Розрахунок штучного освітлення лабораторії

Для забезпечення комфортних і безпечних умов праці, зниження втоми зору та запобігання травматизму під час роботи з точним лабораторним посудом та обладнанням, в лабораторії передбачено суміщене освітлення [109]. Природне освітлення здійснюється крізь вікна і є боковим. У темний період доби або за недостатньої видимості використовується система загального рівномірного штучного освітлення.

Проведемо розрахунок штучного освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку для лабораторного приміщення кафедри.

Вихідні дані приміщення: довжина $a = 8,5$ м; ширина $b = 4,9$ м; загальна площа $S = 41,7 \text{ м}^2$; висота підвісу світильника над робочою поверхнею $h = 3,8$ м.

Тип джерела світла: люмінесцентний світильник ЛСП 02В–2×40 (дволамповий, потужність кожної лампи (40 Вт), світловий потік однієї лампи ($F = 3100$ лм), кількість ламп у світильнику ($n = 2$).

Необхідна кількість світильників (N) розраховується за формулою (4.2):

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{F \cdot n \cdot u}, \quad (4.2)$$

де E — нормативна освітленість (згідно з [109] для IV розряду зорових робіт високої точності норма становить 200 лк);

K — коефіцієнт запасу, що враховує старіння ламп і запиленість приміщення хлібопекарського профілю, 1,3;

Z — коефіцієнт нерівномірності освітлення, 1,1;

u — коефіцієнт використання світлового потоку (визначений у відсотках залежно від показника приміщення (φ) та коефіцієнтів відбиття стін і стелі).

Показник приміщення (φ) розраховується (ф. 4.3) за геометричними параметрами:

$$\varphi = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{8,5 \cdot 4,9}{3,8 \cdot (8,5 + 4,9)} = \frac{41,65}{3,8 \cdot 13,4} = \frac{41,65}{50,92} \approx 0,82 \quad (4.3)$$

Оскільки стіни та стеля лабораторії пофарбовані у світлий колір, коефіцієнт відбиття стелі становить 70 %, а стін — 50 %. За довідковими таблицями для показника приміщення $\varphi = 0,82$ та вказаних коефіцієнтів відбиття, коефіцієнт використання світлового потоку становить $u = 61 \% = 0,61$.

Підставимо отримані значення у формулу (4.2) для визначення кількості світильників:

$$N = \frac{200 \cdot 41,7 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{3100 \cdot 2 \cdot 0,61} = \frac{11926,2}{3782} \approx 3,15 \text{ шт.}$$

Обґрунтування та вибір схеми розміщення: математично необхідна кількість світильників становить 3,15 одиниць. Для забезпечення симетрії, рівномірності світлового поля вздовж робочих столів дослідника (хімічної та випікальної зон), а також створення резерву освітленості на випадок

запиленості борошном, розрахункове значення округлюємо у більшу сторону до найближчого парного числа.

Приймаємо до встановлення 4 світильники ЛСП 02В–2×40 (разом 8 ламп), які доцільно розмістити у два ряди по два світильники в кожному.

4.3.3 Розрахунок захисного заземлення лабораторії

Оскільки дослідницька лабораторія хлібопекарського профілю відноситься до категорії особливо небезпечних приміщень за ступенем ураження електричним струмом, використання трифазного та однофазного обладнання напругою 220/380 В (електропечі, термошафи) вимагає обов'язкового влаштування захисного заземлення.

Захисне заземлення забезпечує навмисне електричне з'єднання з землею металевих неструмоведучих частин устаткування, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Головною метою заземлення є зниження напруги дотику до безпечного рівня.

Проведемо інженерний розрахунок штучного заземлюючого пристрою (комплексу вертикальних стержнів, з'єднаних горизонтальною штабою) для обладнання лабораторії кафедри.

4.3.3.1 Вихідні дані та геометрія заземлювача

Тип вертикального електрода: стержень діаметром $d = 12 \text{ мм} = 0,012 \text{ м}$, довжиною $l = 8 \text{ м}$. Тип горизонтального з'єднувача: сталева штаба шириною $b = 12 \text{ мм} = 0,012 \text{ м}$. Глибина закладання: відстань від поверхні землі до верхнього кінця стержня становить $t_0 = 0,5 \text{ м}$.

Характеристика ґрунту: супісок, для якого питомий опір за умов нормальної вологості складає $\rho = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Гранична умова безпеки: згідно з ПУЕ, допустимий опір заземлюючого пристрою для електроустановок до 1000 В не повинен перевищувати $R_{\text{дон}} = 4 \text{ Ом}$.

4.3.3.2 Розрахунок поодинокого вертикального заземлювача

Визначимо опір розтіканню струму одного вертикального стержня R_e , Ом за формулою (4.4):

$$R_e = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \left[\ln \left(\frac{2l}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4t+l}{4t-l} \right) \right] \quad (4.4)$$

де t — глибина розташування середини вертикального електрода відносно поверхні землі, яка розраховується за формулою (4.5):

$$t = t_0 + \frac{1}{2} \cdot l = 0,5 + \frac{1}{2} \cdot 8 = 4,5 \text{ м} \quad (4.5)$$

Підставивши геометричні параметри у базову формулу (4.4), знайдемо опір одного стержня:

$$R_e = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 8} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 8}{0,012} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 4,5 + 8}{4 \cdot 4,5 - 8} \right) \right] = 45,8 \text{ Ом}$$

4.3.3.3 Визначення кількості вертикальних електродів

Для визначення орієнтовної кількості стержнів (n') без урахування взаємного екранування використовується співвідношення:

$$n' = \frac{R_e}{R_{\text{доп}}} = \frac{45,8}{4} = 11,5 \text{ шт.}$$

Попередньо приймаємо кількість заземлювачів рівною 12 шт. З урахуванням коефіцієнта використання вертикальних електродів ($\eta_e = 0,55$) за умови відношення відстані між ними до їх довжини рівному 1, точна кількість електродів (n) становить:

$$n = \frac{n'}{\eta_e} = \frac{12}{0,55} \approx 21,8 \text{ шт.}$$

Остаточно приймаємо до встановлення в контур заземлення 22 вертикальні електроди.

4.3.3.4 Розрахунок з'єднувальної горизонтальної штаби та загального опору контуру заземлення

Довжина сталевий штаби (L , м), яка об'єднує всі вертикальні стержні, становить:

$$L = a \cdot n \cdot l_0 = 1 \cdot 22 \cdot 8 = 176 \text{ м}$$

Визначимо (ф. 4.6) опір розтікання струму з'єднувальної горизонтальної штаби ($R_{ш}$, Ом) без урахування екранування:

$$R_{ш} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t_0} \right) = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 176} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 176^2}{0,012 \cdot 0,5} \right) = 4,4 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Враховуючи взаємне екранування елементів контуру (коефіцієнт використання горизонтальної штаби $\eta_{ш} = 0,27$), загальний інтегральний опір заземлюючого пристрою (R_3 , Ом) розраховується за формулою (4.7):

$$R_3 = \frac{R_{ш} \cdot R_e}{R_{ш} \cdot \eta_e \cdot n + R_e \cdot \eta_{ш}} \quad (4.7)$$

$$\frac{4,4 \cdot 45,8}{4,4 \cdot 0,55 \cdot 22 + 45,8 \cdot 0,27} = \frac{201,52}{53,24 + 12,366} \approx 3,53$$

Отримане в результаті інженерного проектування значення загального опору заземлюючого пристрою становить:

$$R_3 = 3,53 \text{ Ом} < R_{don} = 4,0 \text{ Ом}$$

Розрахований контур захисного заземлення з 22 вертикальних стержнів повністю задовольняє вимоги ПУЕ, є придатним для експлуатації та гарантує захист дослідника від ураження електричним струмом у разі аварійного пробоя на корпус лабораторних приладів.

4.4 Організаційні заходи безпеки та протипожежний захист

Для мінімізації ризиків, пов'язаних із впливом небезпечних факторів у дослідницькій лабораторії, інженерно-технічні рішення обов'язково підкріплюються організаційними заходами та суворим дотриманням правил пожежної безпеки [110].

4.4.1 Порядок поводження з хімічними речовинами та відходами

Враховуючи використання в аналітичній зоні їдкого натру (NaOH), концентрованих мінеральних кислот та індикаторів, встановлено спеціальний порядок їх зберігання й утилізації:

- маркування та зберігання: усі хімічні речовини зберігаються виключно у фабричній упаковці з чіткими етикетками. Агресивні, леткі та горючі рідини розміщують у щільно закритих ємностях об'ємом не більше 1 л у витяжній шафі;
- сумісність реактивів: категорично заборонено сумісне зберігання хімікатів, здатних реагувати між собою з виділенням тепла чи горючих газів, а також речовин, які у разі пожежі не можна гасити однаковими засобами;

- утилізація відходів: відпрацьовані реактиви заборонено виливати в загальну каналізаційну систему. Хімічні відходи збирають окремо за типами (органічні розчинники окремо від водних розчинів) у спеціальну марковану тару для подальшого знешкодження й централізованої передачі спеціалізованим службам.

4.4.2 Засоби індивідуального захисту та особиста гігієна

Під час виконання досліджень кожен студент зобов'язаний використовувати ЗІЗ відповідно до типу виконуваної операції:

- загальний захист: бавовняний лабораторний халат, застебнутий на всі ґудзики, та захисні окуляри для запобігання потраплянню брызок розчинів в очі;

- захист від хімічних опіків: під час приготування та титрування розчинів лугів обов'язково застосовуються спеціальні рукавички з дисперсії бутилкаучуку;

- захист від термічних опіків: посадку форм у лабораторну піч та їх виїмку дозволяється проводити лише у подовжених протипожежних (термостійких) рукавицях;

- гігієна праці: після завершення всіх робіт студент повинен ретельно вимити руки та обличчя з милом, а також замінити лабораторний одяг на повсякденний, щоб унеможливити винесення мікрочастинок хімікатів або борошняного пилу за межі лабораторії.

4.4.3 Протипожежні заходи та дії в аварійних ситуаціях

Лабораторія класифікується як пожежонебезпечна, тому робота з вогненебезпечними та легкозаймистими рідинами регулюється особливими правилами:

– обмеження об'єму ЛЗР: сумарний об'єм горючих рідин та органічних розчинників, що одночасно знаходяться в приміщенні для повсякденних досліджень, не повинен перевищувати 3–5 літрів;

– правила нагрівання: столи для роботи з ЛЗР вкриті негорючими матеріалами. Нагрівання таких рідин дозволено проводити лише на закритих водонагрівачах, водяних чи піщаних банях, використовуючи електроплитки виключно із закритою спіраллю. Заборонено підключати до однієї розетки кілька нагрівальних приладів одночасно;

– ліквідація розливів: у разі випадкового розливу ЛЗР, рідину негайно засипають абсорбентами (фільтроперлітовим порошком, сухим піском або дрібною тирсою), після чого масу прибирають пластмасовим совком або дерев'яною лопаткою. У зоні можливого скупчення горючих парів категорично заборонено вимикати працюючі прилади тумблерами або висмикувати вилки з розеток через ризик утворення іскри та вибуху.

– первинні засоби пожежогасіння: лабораторія обладнана автоматичною охоронно-пожежною сигналізацією, внутрішнім протипожежним краном із рукавом, ящиком із просіяним піском, лопатою, а також вуглекислотним вогнегасником ВВК–5, який є безпечним для гасіння електроприладів під напругою;

– перша допомога: приміщення оснащено аварійним душем та очною станцією для оперативного змивання агресивних речовин великою кількістю води. У визначеному місці знаходиться укомплектована медична аптечка для надання першої долікарської допомоги.

4.5 Висновки до розділу

1. Ідентифіковано ключові ризики: визначено, що на студента-дослідника діє комплекс фізичних факторів (висока температура лабораторних печей,

напруга 220 В), хімічних небезпек (токсична дія розчинів NaOH при титруванні) та специфічних біологічних шкідливостей (вплив борошняного пилю, дріжджів та спорової мікрофлори).

2. Розраховано параметри вентиляції: на основі геометричних параметрів витяжної шафи (площа отвору $0,1 \text{ м}^2$) визначено необхідну об'ємну швидкість видалення повітря ($360 \text{ м}^3/\text{год}$). Для забезпечення надійного очищення робочої зони обґрунтовано вибір відцентрового вентилятора типу ВЦ 4–70 № 2,5 з фактичною продуктивністю $1350 \text{ м}^3/\text{год}$.

3. Обґрунтовано систему освітлення: методом коефіцієнта використання світлового потоку для IV розряду зорових робіт ($E = 200 \text{ лк}$) визначено потребу та прийнято до встановлення систему з 4 дволампових світильників типу ЛСП 02В–2×40, що гарантує рівномірне освітлення та знижує втому зору дослідника.

4. Забезпечено електробезпеку: розраховано штучний заземлюючий пристрій, що складається з 22 вертикальних стержнів довжиною 8 м, об'єднаних сталевую штабою в єдиний контур. Отриманий інтегральний опір розтікання струму становить $R_z = 3,53 \text{ Ом}$, що повністю відповідає нормативній вимозі ПУЕ ($R_{\text{доп}} \leq 4,0 \text{ Ом}$) і виключає ризик електротравматизму.

5. Сформовано комплекс організаційного захисту: регламентовано чіткі правила особистої гігієни, використання специфічних ЗІЗ (бутилкаучукових та термостійких рукавиць), порядок роботи з легкозаймистими органічними розчинниками та алгоритм ліквідації аварій за допомогою первинних засобів пожежогасіння (вогнегасник ВВК–5, пісок).

Розроблені інженерні та організаційні рішення створюють оптимальне, безпечне та безперебійне виробничо-дослідне середовище, яке повністю відповідає чинному законодавству України про охорону праці [111].

5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Екологічна безпека є невід'ємною частиною організації дослідницького процесу. Проведення експериментальних досліджень у лабораторії пов'язане з утворенням та виділенням у навколишнє природне середовище певної кількості шкідливих речовин та відходів, що потребує впровадження комплексу природоохоронних заходів відповідно до чинного законодавства України [112-114].

5.1 Охорона атмосферного повітря

Джерелами виділення забруднюючих речовин в атмосферне повітря під час виконання дослідницької роботи є:

- Лабораторна випікальна піч та розстійна шафа: виділення парів води, вуглекислого газу, оксиду вуглецю, а також летких органічних сполук (спиртів, альдегідів), які утворюються під час бродіння та випікання хлібобулочних виробів.
- Витяжна шафа хімічного аналізу: виділення незначної кількості парів концентрованих мінеральних кислот (при визначенні білка) та аерозолів лугів.

Природоохоронні заходи:

– ефективне розсіювання: відведення забрудненого повітря здійснюється через систему штучної локальної вентиляції (витяжну шафу), обладнану розрахованим радіальним вентилятором ВЦ 4–70 № 2,5. Викид здійснюється на висоті даху корпусу, що забезпечує ефективне розсіювання та виключає перевищення ГДК забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери селитебної зони.

– обмеження об'ємів: мінімізація одночасного використання летких і токсичних хімічних реактивів під час проведення аналітичних досліджень.

5.2 Охорона та раціональне використання водних ресурсів

Лабораторія підключена до міської централізованої системи водопостачання та водовідведення. Вода використовується для технологічних потреб (замість тіста), господарсько-побутових потреб персоналу, а також для миття лабораторного посуду та обладнання.

Основну екологічну загрозу для водного басейну можуть становити стічні води, що містять залишки хімічних реактивів, мийних засобів та жирових компонентів харчової сировини.

Природоохоронні заходи:

- сувора заборона зливів: категорично заборонено виливати відпрацьовані розчини лугів (NaOH), концентрованих кислот та органічних розчинників у загальну каналізаційну мережу;
- попереднє нейтралізування: кислі та лужні розчини перед утилізацією (у разі випадкового потрапляння у злив) підлягають взаємній нейтралізації до досягнення нейтрального значення рН (6,5–8,5), що відповідає вимогам Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення;
- раціональне водоспоживання: встановлення лічильників обліку води та використання сучасних дозаторів для оптимізації витрат водних ресурсів під час проведення експериментів.

5.3 Управління відходами

У процесі виконання роботи утворюються відходи, які за класифікацією поділяються на безпечні (непридатні для подальшого використання продукти та побутове сміття) та небезпечні (хімічні відходи) (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Класифікація відходів та спосіб утилізації

Тип відходу	Джерело утворення	Клас небезпеки	Спосіб поводження та утилізації
Харчові відходи (браковані зразки хліба, залишки борошна, крохмалю)	зона замісу та випікання зразків	безпечні	збираються у спеціальні контейнери та передаються на утилізацію (наприклад, на корм тваринам або компостування).
Хімічні відходи (відпрацьовані розчини після титрування, залишки реактивів)	зона аналітичних досліджень	небезпечні (II-III клас)	накопичуються окремо за типами у маркованій герметичній тарі у витяжній шафі та передаються ліцензованим підприємствам на детоксикацію.
Тверді побутові відходи (папір, пакувальні матеріали, зметені залишки)	життєдіяльність персоналу, розпакування сировини	безпечні	збираються у контейнери за принципом роздільного сортування та вивозяться комунальними службами на полігони ТПВ.

5.4 Захист від фізичних факторів забруднення

Основними фізичними чинниками впливу на навколишнє середовище від роботи лабораторії є шум від роботи відцентрового вентилятора витяжної вентиляції та теплове забруднення від випікальної печі.

Природоохоронні заходи:

– зниження шуму: Радіальний вентилятор ВЦ 4–70 № 2,5 встановлюється на віброізолюючих основах (пружинних або гумових амортизаторах), а з'єднання з повітропроводами виконується за допомогою гнучких вставок. Це дозволяє знизити рівень звукового тиску поза межами будівлі до нормативних значень (не більше 45 дБА для нічного та 55 дБА для денного часу).

– теплоізоляція: Корпуси лабораторної печі та сушильної шафи мають високоефективну теплоізоляцію, що мінімізує надлишкове виділення тепла у навколишнє середовище.

5.5 Висновки до розділу

Впроваджений комплекс інженерних та організаційних рішень (ефективна локальна вентиляція, роздільне збирання та передача на утилізацію небезпечних хімічних відходів, заборона скидання токсичних речовин у каналізацію) забезпечує мінімальний та екологічно допустимий вплив експериментальної лабораторії на атмосферне повітря, водні ресурси та ґрунти. Діяльність дослідницького майданчика повністю відповідає вимогам екологічного законодавства України.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Метою розрахунку економічної частини кваліфікаційної роботи є визначення повної вартості (ціни) НДР із розроблення та впровадження у хлібопекарську промисловість інноваційної технології пасочної здоби подовженого терміну придатності композитного складу.

Калькуляція витрат на проведення досліджень виконується для умов науково-дослідної лабораторії кафедри з урахуванням діючих цін на харчову сировину, матеріали, хімічні реактиви, а також чинних комерційних тарифів на енергоносії для установ та організацій станом на 2026 рік.

Основними завданнями економічного розрахунку є:

- оцінка прямих матеріальних витрат на сировинну матрицю дослідних зразків та хімічні аналізи;
- визначення витрат електроенергії на роботу основного технологічного обладнання лабораторії (печі, витяжної вентиляції тощо);
- розрахунок умовного фонду оплати праці дослідника та наукового керівника з урахуванням обов'язкових відрахувань до державного бюджету (ЄСВ 22 %);
- калькуляція повної собівартості, очікуваного прибутку установи та виведення кінцевої комерційної ціни дослідження.

Правовою та нормативною базою для розрахунків є Податковий кодекс України, Закон України «Про формування та розміщення державних замовлень на закупівлю товарів, виконання робіт, надання послуг» та діючі положення Міністерства освіти і науки України щодо фінансування наукових розробок.

6.1 Розрахунок ціни дослідження

- Витрати на сировину та матеріали (B_m)

Сюди включаються всі матеріальні витрати на проведення експериментів:

- харчова сировина: борошно (ПБ в/г, ЦЗБ), жири (ГО, ВМ), цукор, сіль, дріжджі, вода, паперові форми, мікс «5 в 1»;
- хімічні реактиви: луг (NaOH) для титрування, кислоти, дистильована вода, індикатори;
- лабораторний посуд та канцелярія: папір для звітів, рукавички, шприци, фільтри.

Зазначені витрати розраховують за формулою (6.1):

$$B_m = \sum(K_i \cdot C_i) \quad (6.1)$$

де K_i — кількість сировини (матеріалу) i -го виду;

C_i — ринкова ціна одиниці сировини (матеріалу) i -го виду.

Вихідні дані та результати розрахунку витрат наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 — Витрати на сировину та матеріали

Найменування компонента (сировина / матеріали)	Одиниця виміру	Кількість K_i	Ціна за одиницю C_i , грн	Сума витрат, грн
1	2	3	4	5
Пшеничне борошно вищого гатунку (ПБ в/г)	кг	1,53	23,00	35,19
Пшеничне цільнозернове борошно (ЦЗБ)	кг	0,23	22,70	5,22
Вершкове масло 82,5 % (ВМ)	кг	0,32	450,00	144,00
Гірчична олія нерафінована (ГО)	кг	0,028	1394,33	39,04
Цукор-пісок	кг	0,27	25,90	6,99
Дріжджі пресовані (інтенсивне дозування 4 %)	кг	0,08	166,70	13,34
Сіль кухонна	кг	0,02	14,90	0,30
Полікомпонентний мікс «5 в 1» (посипання скоринки)	кг	0,022	740,00	16,28
Курячі яйця (для здобного тіста та льезону)	шт.	2	5,00	10,00
Вода	кг	1,1	2,50	2,75

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5
Пасочні паперові форми (капсули)	шт.	42	4,00	168,00
Набір реактивів для хімічних аналізів (NaOH тощо)	компл.	1	250,00	250,00
Канцелярські та допоміжні матеріали	набір	1	150,00	150,00
УСЬОГО:	—	—	—	841,11

- Витрати на енергоносії для наукових потреб (B_e)

Розрахунок споживання електроенергії для технологічного обладнання лабораторії здійснюється за формулою (6.2):

$$B_e = \sum(P_i \cdot t_i \cdot T) \quad (6.2)$$

де: P_i — номінальна (встановлена) потужність конкретного електроприладу, кВт;

t_i — сумарний час фактичної експлуатації приладу за час дослідження, год;

T — комерційний тариф за 1 кВт · год (для бюджетних установ / організацій складає 8,50 грн).

1) Розрахунок для настільної електричної печі Grunhelm GN351ARC

Параметри: Потужність $P_{печи} = 1,8$ кВт.

Часовий баланс: Згідно з табл. 2.3, а також з урахуванням попереднього прогріву камери (по 10 хв на кожну з 7 серій випікання) сумарний час роботи печі склав $t_{печи} = 2,77$ год (чисте випікання) + 1,17 год (прогрів) = 3,94 год

Тоді

$$B_{e.печи} = 1,8 \text{ кВт} \cdot 3,94 \text{ год} \cdot 8,50 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} = 60,28 \text{ грн}$$

2) Розрахунок для радіального вентилятора витяжної вентиляції ВЦ 4-70 № 2,5

Параметри: Потужність трифазного двигуна $P_{вент} = 0,55$ кВт.

Часовий баланс: Працював стабільно під час проведення аналізів та випікання протягом $t_{вент} = 35$ год.

$$B_{e.вент} = 0,55 \text{ кВт} \cdot 35 \text{ год} \cdot 8,50 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} = 163,63 \text{ грн}$$

3) Допоміжне обладнання — лабораторна розстійна шафа

Параметри: Сумарна споживана потужність $P_{\text{допом}} = 1,2$ кВт.

Часовий баланс: Експлуатувалася протягом $t_{\text{допом}} = 7$ год (розстійка у паперових формах тривала по 50–60 хв для кожної партії).

$$B_{e.\text{допом}} = 1,2 \text{ кВт} \cdot 7 \text{ год} \cdot 8,50 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} = 71,40 \text{ грн}$$

Підсумок за споживанням електроенергії становить:

$$B_e = 60,28 + 163,63 + 71,40 = 295,31 \text{ грн}$$

• Розрахунок основної та додаткової заробітної плати ($ЗП$)

У розрахунок закладається умовна заробітна плата дослідника (або лаборанта) за час виконання експериментів, а також оплата праці наукового керівника (консультування). Для розрахунку умовної заробітної плати та нарахувань у 2026 р. скористаємося офіційними макроекономічними показниками України. Станом на травень 2026 р. мінімальна заробітна плата в Україні становить 8647 грн, а погодинна ставка — 52 грн/год.

Для розрахунку НДР приймемо реалістичний регламент: студент-дослідник (лаборант) відпрацював сумарно 80 год (експерименти, аналізи, оформлення), а науковий керівник витратив 20 год на консультації та коригування роботи.

Оскільки дослідження є кваліфікаційним, розрахунок ведеться за ставками бюджетної сфери (єдиної тарифної сітки): ставка дослідника (лаборанта) приймається на рівні мінімальної погодинної оплати — 48,00 грн/год; ставка наукового керівника (доцента) з урахуванням вищого тарифного розряду та наукового ступеня складає орієнтовно 150,00 грн/год.

1) Розрахунок основної заробітної плати ($ЗП_{\text{осн}}$)

Формула розрахунку (6.3):

$$ЗП_{\text{осн}} = (t_{\text{досл}} \cdot C_{\text{Тдосл}}) + (t_{\text{кер}} \cdot C_{\text{Ткер}}) \quad (6.3)$$

де: t — кількість відпрацьованих год;

$C_{\text{Т}}$ — погодинна тарифна ставка, грн/год.

Тоді

$$ЗП_{осн} = 80 \text{ год} \cdot 52,00 \text{ грн/год} + 20 \text{ год} \cdot 150,00 \text{ грн/год} = 6840,00 \text{ грн}$$

2) Розрахунок додаткової заробітної плати ($ЗП_{доп}$)

Додаткова заробітна плата ($ЗП_{доп}$) (на покриття умовних відпусток та непередбачених трудовитрат) у сфері НДР зазвичай приймається у розмірі 10 % від основної:

$$ЗП_{доп} = ЗП_{осн} \cdot 0,1$$

$$ЗП_{доп} = 6840,00 \cdot 0,1 = 684,00 \text{ грн}$$

3) Сумарний фонд оплати праці (ФОП)

$$ФОП = ЗП_{осн} + ЗП_{доп} = 6840,00 + 684,00 = 7524,00 \text{ грн}$$

• Нарахування на заробітну плату (ЄСВ 22 %)

Відповідно до чинного податкового законодавства України, роботодавець (або організація–виконавець НДР) зобов'язаний нарахувати та сплатити до бюджету ЄСВ у розмірі 22 % від загального фонду оплати праці.

Формула розрахунку (6.4):

$$H_{ЄСВ} = ФОП \cdot 0,22 \quad (6.4)$$

$$H_{ЄСВ} = 7524,00 \cdot 0,22 = 1655,28 \text{ грн}$$

• Розрахунок амортизації наукового та лабораторного обладнання (A)

Амортизація враховує знос приладів за час їх експлуатації під час експериментів. Розрахунок проводиться на основі балансової вартості ($БВ$) обладнання та річної норми амортизації ($НА$) (для лабораторного обладнання зазвичай складає 15 % на рік, або 0,041 % на день).

Приймемо, що активна фаза досліджень у лабораторії (t) тривала 15 днів.

Формула розрахунку зносу (6.5):

$$A = \sum \left(\frac{БВ \cdot НА \cdot t}{365 \cdot 100} \right) \quad (6.5)$$

1) Електрична піч Grunhelm GN351ARC:

Балансова вартість: 3200 грн.

$$A_{\text{печи}} = \frac{3200 \cdot 15 \cdot 15}{365 \cdot 100} = 19,73 \text{ грн}$$

2) Радіальний вентилятор витяжної вентиляції ВЦ 4-70 № 2,5:

Балансова вартість: 12000 грн.

$$A_{\text{вент}} = \frac{12000 \cdot 15 \cdot 15}{365 \cdot 100} = 73,97 \text{ грн}$$

3) Допоміжне обладнання (ваги, розстійна шафа):

Загальна балансова вартість: 18000 грн.

$$A_{\text{допом}} = \frac{18000 \cdot 15 \cdot 15}{365 \cdot 100} = 110,96 \text{ грн}$$

Сумарна величина амортизації становить:

$$A = 19,73 + 73,97 + 110,96 = 204,66 \text{ грн}$$

• Накладні (загальнокафедральні) витрати ($B_{\text{накл}}$)

Накладні витрати включають витрати на утримання приміщення лабораторії площею 41,7 м² (опалення, водопостачання, загальне освітлення корпусу, послуги зв'язку, інтернет та охорону).

У НДР на базі ЗВО ці витрати не вираховуються поштучно, а приймаються як норматив у розмірі 50% від основної заробітної плати ($ЗП_{\text{осн}}$) (ф. 6.6), яка дорівнює 6840,00 грн:

$$B_{\text{накл}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,50 \quad (6.6)$$

$$B_{\text{накл}} = 6840,00 \cdot 0,50 = 3420,00 \text{ грн}$$

• Розрахунок собівартості та кінцевої ціни дослідження ($Ц_{\text{досл}}$)

Для визначення повної вартості розробки технології нової пасочної здоби зведемо всі розраховані статті в один підсумковий кошторис (табл. 6.2):

Повна собівартість дослідження (C) визначається як (ф. 6.7):

$$C = B_m + B_e + ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{дод}} + H_{\text{есв}} + A + B_{\text{накл}} \quad (6.7)$$

Тоді

$$C = 841,11 + 295,31 + 6840,00 + 684,00 + 1655,28 + 204,66 + 3420,00 = 13940,36 \text{ грн}$$

Очікуваний прибуток (рентабельність) (Π): Для комерційної привабливості НДР (наприклад, при виконанні на замовлення хлібозаводу) закладемо рівень рентабельності наукової установи у розмірі 20 %.

$$\Pi = C \cdot 0,20 = 13940,36 \cdot 0,20 = 2788,07 \text{ грн}$$

Ціна дослідження без ПДВ:

$$Ц = C + \Pi = 13940,36 + 2788,07 = 16728,43 \text{ грн}$$

Повна ціна дослідження (з ПДВ 20 %):

$$Ц_{\text{повна}} = Ц \cdot 1,2 = 16728,43 \cdot 1,2 = 20074,12 \text{ грн}$$

Таблиця 6.2 — Підсумковий кошторис

№ п/п	Статті витрат (елементи кошторису)	Сума, грн
1	Витрати на сировину, матеріали та реактиви (B_m)	841,11
2	Витрати на електроенергію (B_e)	295,31
3	Основна заробітна плата ($ЗП_{\text{осн}}$)	6840,00
4	Додаткова заробітна плата ($ЗП_{\text{дод}}$)	684,00
5	Нарахування на заробітну плату (ЄСВ 22 %) ($H_{\text{есв}}$)	1655,28
6	Амортизація лабораторного обладнання (А)	204,66
7	Накладні (загальнокафедральні) витрати ($B_{\text{накл}}$)	3420,00
8	ПОВНА СОБІВАРТІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ (С)	13940,36
9	Очікуваний прибуток установи (Рентабельність 20 %)	2788,07
10	Ціна науково-дослідної роботи без ПДВ	16728,43
11	ПОВНА ЦІНА ДОСЛІДЖЕННЯ З ПДВ ($Ц_{\text{повна}}$)	20074,12

Сумарна комерційна ціна розроблення технології нової пасочної здоби подовженого терміну придатності композитного складу (із впровадженням ЦЗБ, ГО та міксу «5 в 1») становить 20074,12 грн. Ця сума є цілком конкурентоспроможною для впровадження на малих та середніх підприємствах хлібопекарської промисловості, оскільки капітальні витрати на дослідження

швидко окупляться за рахунок усунення браку (завдяки формам) та тривалого терміну реалізації здоби (до 12 діб).

6.2 Висновки до розділу

В результаті проведених інженерно-економічних розрахунків сформовано повний кошторис витрат на виконання НДР. Повна собівартість розроблення технології пасочної здоби композитного складу становить 13940,36 грн. З урахуванням планового рівня рентабельності наукової установи (20 %) та податку на додану вартість (20 %), кінцева комерційна ціна дослідження для впровадження на підприємствах харчової промисловості складає 20074,12 грн.

Запропонована вартість розробки є висококонкурентною на ринку інноваційних технологій. Капітальні витрати хлібопекарського підприємства на придбання даної технології мають швидкий термін окупності за рахунок радикального зниження технологічного браку (завдяки переходу на формовий спосіб випікання в паперових капсулах) та мінімізації логістичних втрат від усушки й черствіння готової продукції в торговельних мережах.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо підвищення нутрієнтної щільності та подовження терміну свіжості пасочної здоби (аналога булки «Травнева»).

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Обґрунтовано вибір функціональної сировини. Доведено доцільність сумісного використання ЦЗБ, ГО холодного віджиму та знежиреного ПКМ «5 в 1» (льон, кунжут, гарбуз, кедр, мигдаль) для корекції хімічного складу та технологічних властивостей здобного тіста.

2. Оптимізовано рецептурний склад. На основі математичного моделювання встановлено раціональні дозування компонентів: заміна 15 % пшеничного борошна на ЦЗБ, 15 % вершкового масла на ГО та внесення 5 % ПКМ для оздоблення поверхні. Така комбінація нівелює негативний вплив висівків на клейковинний каркас, забезпечуючи високу пористість (81 %) та об'єм виробу.

3. Визначено роль полікомпонентного міксу. Доведено, що використання ПКМ «5 в 1» разом із ГО дозволяє повністю вилучити з рецептури традиційні інгредієнти (родзинки та штучний ванілін). Природний ароматичний профіль насіння й горіхів забезпечує високі сенсорні показники (4,90 бала) та формує оригінальний крафтовий смак здоби.

4. Інтенсифіковано технологічний процес та пролонговано свіжість. Уповільнення процесу ретроградації крохмалю завдяки взаємодії амілози з ліпідами ГО та залишковими жирами ПКМ дозволило знизити крихкість м'якуша та подовжити термін збереження свіжості виробу до 12 діб.

5. Досліджено харчову цінність. Модифікована здоба характеризується покращеним нутрієнтним профілем: вміст білка зріс на 41,94 %, загальний

вміст вуглеводів знизився на 9,80 %, а виріб додатково збагатився на Омега-3 і Омега-6 ПНЖК та есенціальні мінеральні речовини (Mg, Zn, Ca).

6. Доведено економічну доцільність. Розрахунок кошторису на проведення досліджень (загальна сума 13940,36 грн) та аналіз собівартості підтверджують високу рентабельність та конкурентоспроможність розробленого виробу на ринку функціональних хлібобулочних продуктів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Асортимент хлібобулочних виробів.

URL: <https://foodtechnology.pro/tehnologiya-virobnitstva-hliba/asortyment-hlibobulochnyh-vyrobiv>. (дата звернення: 19.03.2026).

2. Івченко В. М., Полонська О. М., Солошенок А. Л. Сучасні реалії ринку хлібопекарської продукції в Україні. *Економічний простір*. 2025. № 204. С. 124–130.

3. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Камінська С. В., Горлата Н. О. Біологічно активні природні сполуки у життєзабезпеченні організму людини. *Наукові праці НУХТ*. 2022. Т. 28. № 3. С. 98–106.

4. Дорохович В. В. Інноваційні технології борошняних кондитерських виробів зі зниженою калорійністю. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т. 23. № 4. С. 199–206.

5. Тарасенко Д. І. Удосконалення асортименту хлібобулочних виробів на українському ринку. *Вісник студентського наукового товариства «ВАТРА» Вінницького торговельно-економічного інституту КНТЕУ*. Вінниця : Ред.–видав. відділ ВТЕІ КНТЕУ, 2020. Вип. 98. С. 110–119.

6. Юхно В. М., Бараболя О. В. Розробка рецептури та особливості технології хлібобулочних виробів функціонального призначення. *Вісник уманського національного університету садівництва*. 2022. № 1. С. 46–51.

7. Бойдуник Р. М. Удосконалення рецептур борошняних кондитерських виробів для створення продуктів здорового харчування. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. № 9 (50). С. 307–320.

8. Пахомська О. В. Науковий підхід до створення хлібобулочних виробів функціонального призначення. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Т. 25, № 2. С. 276–283.

9. Сімахіна Г. О., Науменко Р. Ю. Модифікація харчових продуктів: багатоваріантність підходів та пріоритети. *Наукові праці НУХТ*. 2018. Т. 24, № 6. С. 232–239.

10. Горач О. О. Шляхи підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2024. Т 1, Вип. 14. 15 с.
11. Чуйко М. М., Чуйко А. М. Інноваційні підходи до розробки та виведення на ринок борошняних виробів функціонального призначення. *Економіка та суспільство*. 2021. Вип. № 23. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-23-5>.
12. Кирпіченкова О. М., Сильчук Т. А., Силка І. М. Використання рослинної сировини в технології борошняних кондитерських виробів у закладах ресторанного господарства. *Наукові праці НУХТ*. 2024. Т. 30, № 4. С. 100–110.
13. Пешук Л. В., Сімонова І. І., Штик І. І. Тренд сучасності – продукція оздоровчого призначення. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Харчові технології*. 2022. Т. 24. № 97. С. 52–59.
14. Харчові технології. Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчоконцентратів : навч. посіб. / О. В. Самохвалова, З. І. Кучерук, С. Г. Олійник та ін.; за ред. проф. О. В. Сомахвалої; Харків : ФОП Бровін О. В., 2019. 284 с.
15. Сімакова О. О., Никифоров Р. П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна з заданими властивостями : монографія. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2018. 146 с.
16. Дробот В. І., Михонік Л. А. Споживчі властивості хлібобулочних виробів з борошна високого виходу. *Зернові продукти та комбікорми*. 2008. № 1. С. 19–20.
17. Ramzan S., Kamran M. Comparative Study on Rheological Properties of Wheat Flour Types for Industrial Usage. *Sharif AgriHealth: Journal of Agri-food, Nutrition and Public Health*. 2023. 4 (1), 63–69.
18. Ngozi A. A. Effect of whole wheat flour on the quality of wheatbaked bread. *Global Journal of Food Science and Technology*. June, 2014. Vol. 2 (3), pp. 127–133.
19. Михонік Л. А., Черкас О. І, Ситниченко Т. О. та ін. Дослідження технологічних властивостей різних видів пшеничного цільнозернового борошна. *Наукові праці НУХТ*. 2024. Т. 30, № 4. С. 132–145.
20. Ніверчук Є. Технологія приготування здобних виробів на пшеничній рідкій опарі «Пуліш».

URL: <https://ur.knute.edu.ua/server/api/core/bitstreams/75bc18ae-2f01-453e-9544-f278afc8d7b8/content> (дата звернення: 15.03.2026).

21. Жигунов Д. О., Волошенко О. С., Хоренжий Н. В. Порівняльне дослідження показників якості цільнозернового пшеничного та спельтового борошна. *Зернові продукти та комбікорми*. 2018. Т. 18, № 3. С. 15–20.
22. Бортнічук О. В., Цирульнікова В. В., Доценко В. Ф. Використання пшеничних висівок у виробництві хлібобулочних виробів. Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства : матер. IV Міжн. наук.–практ. конф. вчен., асп. і студ. Київ : НУХТ, 2014. С. 54–56.
23. Torbica A., Radosavljević M., Belović M. et al. Overview of Nature, Frequency and Technological Role of Dietary Fibre from Cereals and Pseudocereals from Grain to Bread. *Carbohydr. Polym.* 2022 Aug 15;290:119470. doi: 10.1016/j.carbpol.2022.119470.
24. Frølich W., Åman P., Tetens I. Whole Grain Foods and Health-A Scandinavian Perspective. *Food Nutr. Res.* 2013. 57, 18503.
25. Verbeke C., Debonne E., Versele S. et al. Technological Evaluation of Fiber Effects in Wheat-Based Dough and Bread. *Foods*. 2024. 13 (16), 2582.
26. Kowalski S. Nutritional properties and amino acid profile of buckwheat bread. *Journal of Food Science and Technology*. 2022. 59 (8), 3020–3030.
27. Bojňanská T., Frančáková H., Chlebo P., Gažar R. Možnosti využitia pohánky pri výrobe chleba a výhody jeho konzumácie (possibilities of using buckwheat in the production of bread and the benefits of its consumption). *Potravinárstvo. Slovak Journal of Food Sciences*. 2010. 4(1), 8–12.
28. Drobot V., Semenova A., Smirnova J., Mykhonik L. Effect of Buckwheat Processing Products on Dough and Bread Quality Made from Whole-Wheat Flour. *International Journal of Food Studies*. 2014. Apr 18; 3 (1).
29. Гордієнко Т. В., Семенова А. Б., Михонік Л. А., Дробот В. І. Білково–пшеничний хліб з гречаним борошном. *Наукові праці ОНАХТ*. 2012. Вип. 42 (1). С. 143–146.

30. Bagchi T. B., B. Das, A. Kumar et al. "Impact of Cooking, Parboiling and Fermentation on Nutritional Components, Predicted Glycemic Index and Pasting Properties of Rice." *Journal of Cereal Science*. 2023. 114: 103763.
31. Дробот В. І., Шевченко А. О., Літвинчук С. І. Вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27, № 5. С. 114–122.
32. Guilherme S., Batista V. D., Rebellato A. P. et al. "Sustainable Production of Naturally Colored Extruded Breakfast Cereals From Blends of Broken Rice and Vegetable Flours." *Food Research International*. 2023. 172: 113078.
33. Vela A. J., Villanueva M., Ronda F. "Physical Modification Caused by Acoustic Cavitation Improves Rice Flour Bread-Making Performance." *LWT*. 2023. 183: 114950.
34. Ammar I., Sebi H., AlZhangoui T. et al. "Optimization of a Novel, Gluten-Free Bread's Formulation Based on Chickpea, Carob and Rice Flours Using Response Surface Design." *Heliyon*. 2022. 8, no. 12: e12164.
35. Zhang J. M., Nie S. L., Li J. Y. et al. "Effects of Addition of Rice Flour on Kneading and Stretching Properties of Bread Dough." *Modern Flour Industry*. 2020. 04: 22–25.
40. Gao X., M C., Yang Y. et al. Effects of Rice Flour Substitution on the Structure and Processing Characteristics of Mixed Rice-Wheat Dough. *Food Bioengineering*. 2025. 4: 15–27.
36. Tomar, M., Singh, P. (Eds.). Oat (*Avena sativa*): Production to Plate (1st ed.). CRC Press. 2024.
37. Popa, C. N., Tamba-Berehoiu R. M. Oat flour in bread manufacturing. *Trends in Wheat and Bread Making*. 2021. 279–309.
38. Дзюндзя О. В., Звагольська К. М. Аналіз нетрадиційної борошняної сировини для виробництва хлібобулочних виробів. *Таврійський науковий вісник. Серія : Технічні науки*. 2021. Вип. 1. С. 22–29.
39. Бомба М., Федина Л., Панькевич І. Удосконалення технології та розширення асортименту хлібобулочних виробів з використанням

нетрадиційної сировини. Матер. міжн. наук.–практ. конф., присв. 140–річчю географії у Львівському ун-ті (м. Львів, 18–20 травня 2023 р.). 2023. Львів : Простір–М. Т. 3. С. 223–226.

40. Олійник С. Г., Степанькова Г. В., Самохвалова О. В., Кравченко О. І. Технологія хліба пшеничного з продуктами переробки зародків вівса та кукурудзи : монографія. Харків, 2017. 123 с.

41. Олійник С. Г., Лисюк Г. М., Кравченко О. І., Самохвалова О. В. Технології хлібобулочних виробів із продуктами переробки зародків пшениці : монографія. Харків : ХДУХТ, 2014. 108 с.

42. Mesta-Corral M., Gómez-García R., Balagurusamy N. et al. Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges. *Foods*. 2024. 13 (13). 2062.

43. Bhupendra M Ghodki, Gautamraj Dadlani, Devendra M Ghodki, Snehasis Chakraborty. Functional whole wheat breads: Compelling internal architecture. *LWT*. 2019. July. Vol. 108. P. 301–309.

44. Schmidt H. d. O.; Oliveira V. R. de Overview of the Incorporation of Legumes into New Food Options: An Approach on Versatility, Nutritional, Technological, and Sensory Quality. *Foods*. 2023, 12, 2586.

45. Bojnanska T.; Frančáková H.; Líšková M.; Tokár M. Legumes-The Alternative Raw Materials for Bread Production. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci*. 2012, 1, 876–886.

46. Nartea A., Kuhalskaya A., Fanesi B. et al. Legume Byproducts as Ingredients for Food Applications: Preparation, Nutrition, Bioactivity, and Techno-Functional Properties. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf*. 2023. 22. 1953–1985.

47. Verbeke C., Debonne E., Versele S. et al. Technological Evaluation of Fiber Effects in Wheat-Based Dough and Bread. *Foods*. 2024. 13 (16). 2582.

48. de Lamo B., Gómez M. Bread Enrichment with Oilseeds. A Review. *Foods*. 2018. Nov 20. 7 (11) : 191.

49. Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Кочубей-Литвиненко О. В., Андронович Г. М. Насіння льону як рецептурний компонент хлібобулочних виробів. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26, № 4. С. 178–189.
50. Пешук Л. В., Носенко Т. Т. Біохімія та технологія оліє-жирової сировини : навч. посіб.. Київ : ЦУЛ, 2011. 296 с.
51. Осейко М. І. Технологія рослинних олій : підручник. Київ : Варта, 2006. 280 с.
52. Філінська Т. Г., Черваков О. В., Філінська А. О. Рослинні олії : довідник. Дніпропетровськ : Грані, 2015. 425 с.
53. Манк В. В., Полонська Т. А. Склад композицій рослинних олій для косметичних засобів. *Наукові праці НУХТ*. 2016. Том 22, № 3. С. 217–223.
54. Іванов С. В., Пешук Л. В., Радзієвська І. Г. Технологія купажованих жирів збалансованого жирнокислотного складу : монографія. Київ: НУХТ, 2013. 210 с.
55. Лебединець В. Т., Мороз М. М. Використання рідких рослинних олій у виробництві здобного печива. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2022. № 31. С. 92–100.
56. Laghaeia S., Gharachorloo M. Formulation of Trans Free Shortening Based on Canola, Palm Olein and Fully Hydrogenated Soybean Oils Blends; The Application on Biscuit, *Journal of Food Biosciences and Technology*. 2021. Vol. 11, № 2. P. 35–44.
57. Шаповалова Н. П. Формування споживних властивостей здобних виробів підвищеної біологічної цінності. *Формування і оцінювання асортименту, властивостей та якості продовольчих товарів* : Матер. II Міжн. наук.–практ. конф. Львів : Растр-7, 2014. С. 190–194.
58. Кобець О. С., Олійник С. С., Арпуль О. В., Доценко В. Ф. Досвід використання рослинних олій з нетрадиційної сировини у харчовій промисловості. *Научный взгляд в будущее*. 2016. Т. 2. №. 2. С. 56–64.
59. Лапицька Н., Сиза О., Городиська О. та ін. Вплив олії шипшини на якість житньо-пшеничного хліба. *Biota. Human. Technology (BHT)*. 2022. №. 2. С. 106–117.
60. Теслюк Ю. В., Алієв Е. Б., Акастьолов О. В. Маркетинговий аналіз вітчизняного і світового ринку продуктів переробки насіння малопоширених

(нішевих) олійних культур. *Електронний журн. Ефективна економіка*. 2025. № 6. 22 с.

61. Макарова О. В., Коркач Г. В., Котузаки О. М. та ін. Використання вторинних продуктів переробки насіння олійних культур у технології кексів. *Наукові праці НУХТ*. 2025. Т. 31, № 2. С. 190–205.

62. Shevchuk N., Petrova O., Ziuzko A. et al. Use of oilseeds as organic raw materials for the food industry / *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2024. 28 (2). 65–76.

63. Vichare S. A., Morya S. Exploring waste utilization potential: nutritional, functional and medicinal properties of oilseed cakes. *Front. Food. Sci. Technol*. 2024. 4:1441029.

64. Олійник С. Г., Лисюк Г. М., Кравченко О. І., Самохвалова О. В. Технології хлібобулочних виробів із продуктами переробки зародків пшениці: монографія. Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. Харків : ХДУХТ, 2014. 108 с.

65. Принципи збалансування продовольчої безпеки : монографія / І. В. Федулова, А. С. Тіхонова, О. А. Лисенко та ін. ; кер. авт. кол. проф. І. В. Федулова. Київ : Кондор, 2014. 380 с.

66. Дробот В. І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і допов. Київ : «ПрофКнига», 2019. 580 с.

67. Болховітіна О. І., Шмітько М. І., Сохань А. В. Використання продуктів переробки олійних культур у формуванні інноваційних рецептур хлібобулочних виробів. *Сталий ланцюг харчування та безпека крізь науку, знання та бізнес: тези допов. II Міжн. наук.–практ. конф., 15 травня 2025 р.* Харків : ДБТУ, 2025. С. 75–76.

68. Чорний В. М. Вплив шротів насіння і горіхів на перебіг процесів приготування тіста для житнього хліба / Збірн. тез X Всеукр. студ. наук.–техн. конф. «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 25-26 квітня 2017 р. Т. : ТНТУ, 2017. Т. 1. С. 225–226.

69. Шидакова-Каменюка О. Г., Новік Г. В., Олійник С. Г., Запаренко Г. В. Вплив продуктів переробки горіхової сировини на технологічні властивості борошна пшеничного. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т. 23, № 4. С. 183–190.
70. Шидакова-Каменюка О. Г., Новік Г. В., Болховітіна О. І. Технологія здобного печива з використанням рідких олій та горіхових шротів : монографія. Харків : ДБТУ, 2023. 193 с.
71. Олійник С. Г., Самохвалова О. В., Лапицька Н. В. Вплив шроту плодів шипшини на процеси дозрівання та якість житньо-пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Т. 25, № 6. С. 249–258.
72. Котляр Є. О., Єгоров Б. В. Натуральні харчові добавки з виноградного насіння та ядер кісточкових фруктів. *Наукові праці НУХТ*. 2025. Т. 31, № 6. С. 226–246.
73. Овсієнко С. М. Збагачення хлібобулочних виробів нетрадиційною сировиною. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького. Серія "Харчові технології"*. 2024. Т. 26. № 101. С. 164–170.
74. Самілик М. М. Наукове обґрунтування інновацій в процесах переробки рослинної сировини та її похідних продуктів : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.12. Київ. 2023. 365 с.
75. Інноваційні технології оздоровчих харчових продуктів на основі рослинної сировини та обладнання для їх реалізації : [колект.] монографія : у 3 ч. / Харків. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків : Вид-во Іванченка І. С., 2020.
- Ч. 2: Технології оздоровчих хлібобулочних і кондитерських виробів із використанням нетрадиційної сировини. О. І. Черевко та ін. 2021. 192 с.
76. Інноваційні технології дієтичних та оздоровчих хлібобулочних виробів : монографія. За ред. чл.–кор. НААН В. І. Дробот. Київ : Кондор, 2016. 238 с.
77. Шелудько В. М., Ягодка С. В. Перспективи збагачення здобних хлібобулочних виробів рослинною сировиною підвищеної харчової цінності. *Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини* : матер. Х Міжн. наук.–

- практ. інтернет-конф. (Прага, 10 листопада 2023 р.). Прага : Oktan Print s.r.o., 2023. С. 103.
78. Жукова В. Ф., Тарасенко В. Г. Поліпшення якості кондитерських виробів за рахунок використання нетрадиційної сировини. *Інновації та технології в сфері послуг і харчування*. 2021. № 1–2 (3–4). С 44–50.
79. Загоруй Л. П., Калініна Г. П., Мазур Т. Г. Перспективи використання каротиновмісних овочевих порошків у технології хлібобулочних виробів. *Актуальні питання розвитку сучасної науки : тези 8-ї Міжн. наук. та практ. конф. (8-10 квітня 2020 р.)*. Болгарія, Софія : Вид-во «АКЦЕНТ», 2020. С. 245–250.
80. Суха Н. А., Дробот В. І. Використання овочевих каротиновмісних порошків при випіканні хлібобулочних виробів. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. 2009. № 6 (55). С. 35–37.
81. Буяльська Н. П., Гуменюк О. Л., Денисова Н. М., Челябієва В. М. Підвищення харчової цінності хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів : монографія. Чернігів : ЧНТУ, 2020. 122 с.
82. Панасюк С., Тараймович І. Використання овочевих та фруктових порошків як інноваційних інгредієнтів у рецептурі хлібобулочних виробів. *Товарознавчий вісник*. 2022. Вип. 15, Ч. 2. С. 49–62.
83. Шевченко А. О. Вплив порошку топінамбуру на мікробіологічні та біохімічні процеси в тісті при виготовленні хлібобулочних виробів. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27, № 2. С. 182–186.
84. Самілик М. М., Демидова Є. В. Використання похідних продуктів переробки обліпихи у виробництві здобних булочок. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. Вип. 4. С. 94–101.
85. Інноваційні технології хлібобулочних і кондитерських виробів : колект. монографія / О. В. Самохвалова та ін. ; за заг. ред. канд. техн. наук, проф. О. В. Самохвалової ; Харків. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків : Ексклюзив, 2015. 462 с.

86. Рогова А. Л., Гризовська Л. О., Чоні І. В. Обґрунтування використання порошку шипшини в технології бісквітних виробів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2023. № 33. С. 66–73.
87. Бараболя О. В., Калашник О. В., Мороз С. Е. та ін. Використання напівфабрикатів гарбуза для збагачення хліба пшеничного / *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. № 4. С. 76–80.
88. Карпик Г. В., Вічко О. І., Копчак Н. Г., Швед О. В. Особливості виробництва булочних виробів з rheum l. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2022. Vol. 5, No. 2. P. 136–141.
89. Карпик Г. В., Адамішин О. В. Виробництво булочки з цілеспрямованою зміною складу. Збірн. VII Міжн. наук.–техн. конф. «Стан і перспективи харчової науки та промисловості». С. 73. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/42800/2/SPFSI_2023_Karpyk_G_V-Manufacturing_bun_with_purposeful_73.pdf (дата звернення: 15.03.2026).
90. ДСТУ 4585:2021. Вироби хлібобулочні здобні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2021–12–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 31 с. (Національний стандарт України).
91. Єршов П. С. Збірник рецептур на хліб та хлібобулочні вироби. СПб. : Гідрометеоіздат, 1998. 191 с.
92. Гринчук Д., Горач О. Актуальність використання цільнозернового борошна в харчовій промисловості / Молодь — науці і виробництву: Актуальні питання харчової промисловості: IV Всеукр. наук.–техн. конф. здобув. вищ. освіти і мол. учених: тези допов., Кропивницький, 14 травня 2025 р. [Електронне видання]. Кропивницький: ХДАЕУ, 2025. 133 с.
93. Гринчук Д. О., Горач О. О. Техніко-технологічне забезпечення виробництва цільнозернового борошна в хлібопеченні / Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : Матер. VII Міжн. наук.–практ. конф. 03–28 листопада 2025 р. Таврійський держ. агротехнолог. ун-т ім. Дм. Моторного. С. 211–215.

URL: <https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/607aea63-3464-48ad-b6b2-0fdbe5890d2c/content> (дата звернення: 15.03.2026).

94. Радзієвська І. Г., Мельник О. П. Дослідження хімічного складу гірчичної олії. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/9e95e922-c383-49f2-a0f2-d01ccfa62f0f/content> (дата звернення: 15.03.2026).

95. Журавель В. М., Комарова І. Б. Мінливість жирнокислотного складу олії гірчиці сарептської і селекція на поліпшення її якості. *Селекція і насінництво*. 2013. Вип. 104. С. 75–80.

96. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва. Київ : Логос, 2002. 365 с.

97. ДСТУ 7044:2022. Вироби хлібобулочні. Правила приймання, методи відбирання проб, методи визначання маси виробів. [Чинний від 2023–01–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 11 с. (Національний стандарт України).

98. Дробот В. І. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв : Навч. посіб. Київ : Центр навч. літ., 2006. 341 с.

99. ДСТУ 7045:2009. Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників. [Чинний від 2010–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 40 с. (Національний стандарт України).

100. ДСТУ 9188:2022. Вироби хлібобулочні. Органолептичне оцінювання показників якості. [Чинний від 2023–01–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 12 с. (Національний стандарт України).

101. Технологічні розрахунки у хлібопекарському виробництві (задачник): Навч.–метод. посібн. / За ред. чл.–кор. В. І. Дробот. К. : Кондор, 2010. 440 с.

102. Хімічний склад харчових продуктів: Книга 1: Довідникові таблиці вмісту основних харчових речовин та енергетичної цінності харчових продуктів / Під ред. проф., д–ра техн. наук І. М. Скуріхіна, проф., д–ра мед. наук М. Н. Волгарьова. 2–ге вид., перероб. та доповн. М. : ВО «Агропромиздат», 1987. 224 с.

103. Шевченко А. О. Вплив лляної та рижієвої олії на показники якості хліба з клітковиною з насіння гарбуза та порошком плодів шипшини. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті*

- євроінтеграції* : тези матер. XIV Міжн. наук.–техн. конф. (Київ, 25 листоп. 2025 р.). Київ : НУХТ, 2025. С. 88–89.
104. ДСН 3.3.6.042–99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 р. № 42. Київ : МОЗ України, 1999. 24 с.
105. Правила улаштування електроустановок : затверджено наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476. Харків : Форт, 2017. 608 с.
106. ДСТУ Б В.1.1–36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017–01–01]. Київ : Мінрегіон України, 2016. 41 с. (Національний стандарт України).
107. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248. *Офіційний вісник України*. 2014. № 41. Ст. 1098.
108. НПАОП 15.8–1.27–02. Правила безпеки для виробництва хліба, хлібобулочних та макаронних виробів : затверджено наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 18.04.2002 р. № 205. Київ : Основа, 2002. 124 с.
109. ДБН В.2.5–28:2018. Природне і штучне освітлення. [Чинні від 2019–03–01]. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Державні будівельні норми України).
110. Правила пожежної безпеки в Україні. НАПБ А.01.001–14. Київ : Видавництво «Форт», 2024. 132 с.
111. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 49. Ст. 668.
112. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII (зі змінами). *Відомості Верховної Ради України*. 1991. № 41. Ст. 546.

113. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16.10.1992 № 2707-ХІІ (зі змінами). *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 50. Ст. 678.
114. Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 № 2320-ІХ. *Відомості Верховної Ради України*. 2022. № 37-38. Ст. 230.