

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Магістр»
на тему:

**Обґрунтування технології виробництва
макаронних виробів з твердих сортів пшениці,
збагачених люпиновим борошном**

Виконав: здобувач вищої освіти 2 курсу,
групи МгХТ-1-24
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Микола ПУТРЯ

Керівник: _____ Ірина ХОЛОБЦЕВА

Рецензент: _____

Дніпро 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій
Ступінь вищої освіти: «Магістр»
Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»
Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
_____Віталій КОШУЛЬКО

«___» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Путря Миколі Олександровичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології виробництва макаронних виробів з твердих сортів пшениці, збагачених люпиновим борошном».
Керівник роботи: Холобцева Ірина Петрівна, кандидатка технічних наук, затверджені наказом закладу вищої освіти від «24» жовтня 2025 року №3184.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 грудня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: 1. Літературні джерела та періодичні видання. 2. Наукова та науково-технічна документація, що стосується виробництва макаронних виробів.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1. Оглядний розділ. 2. Дослідницько-аналітичний розділ. 3. Експериментальний розділ. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Організаційно-економічний розділ. Загальні висновки і пропозиції. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1) Титульний аркуш, тема. 2) Мета і задачі досліджень. 3) Огляд досліджень процесу виробництва макаронних виробів. 4) Методика експериментальних досліджень. 5) Результати експериментальних досліджень. 6) Охорона праці та захист навколишнього середовища 7) Організаційно-економічна частина. 8) Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 5	доцентка ХОЛОБЦЕВА Ірина	24.10.25	08.12.2025

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	24.10-26.10.2025	виконано
2	Оглядовий розділ	27.10-02.11.2025	виконано
3	Дослідницько-аналітичний розділ	03.11-09.11.2025	виконано
4	Експериментальний розділ	10.11-23.11.2025	виконано
5	Охорона праці та захист навколишнього середовища	24.11-26.11.2025	виконано
6	Організаційно-економічний розділ	27.11-30.11.2025	виконано
7	Загальні висновки і пропозиції, бібліографія	01.12-03.12.2025	виконано
8	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	04.12-08.12.2025	виконано

Здобувач вищої освіти _____ **Микола ПУТРЯ**
(підпис)

Керівник роботи _____ **Ірина ХОЛОБЦЕВА**

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи містить: 58 сторінок друкованого тексту, 8 рисунків, 9 таблиць та використано 40 літературних джерела.

Метою роботи є обґрунтування технологічних параметрів і рецептурного складу макаронних виробів з твердих сортів пшениці із частковим заміщенням пшеничного борошна люпиновим, що дозволить підвищити їхню харчову цінність та розширити асортимент продуктів функціонального призначення.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виробництва макаронних виробів із твердих сортів пшениці.

Предмет дослідження: вплив часткового заміщення пшеничного борошна люпиновим на фізико-хімічні, реологічні та органолептичні показники макаронних виробів, а також на їх харчову цінність і якість.

Робота присвячена дослідженню впливу люпинового борошна на якість макаронних виробів. Метою було обґрунтування часткової заміни пшеничного борошна люпином для підвищення білкової та харчової цінності. Огляд літератури висвітлює сучасний стан виробництва макаронів, фактори якості та використання нетрадиційних компонентів. Експериментальна частина включає приготування зразків, визначення хімічного складу, фізичних та реологічних властивостей, а також показників варильної якості за методиками АОАС та ААСС. Результати показали, що люпинове борошно підвищує вміст білка і харчових волокон, впливає на в'язкість тіста та міцність виробів. Оптимальна заміна – до 10–15% для збереження технологічних і органолептичних властивостей. Розрахунок собівартості враховував сировину, енергоносії, зарплату та амортизацію, показавши зростання витрат із підвищенням частки люпину. Робота містить рекомендації щодо оптимізації складу та технології виробництва макаронів з покращеними функціональними властивостями.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАКАРОННІ ВИРОБИ, ЛЮПИНОВЕ БОРОШНО, ХІМІЧНИЙ СКЛАД, РЕОЛОГІЯ, ЯКІСТЬ, СОБІВАРТІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Значення та сучасний стан виробництва макаронних виробів.....	7
1.2 Дослідження тенденцій і факторів якості макаронних виробів	8
1.3 Огляд досліджень процесу виробництва макаронних виробів	10
1.4 Використання люпинового борошна	16
Висновки за розділом	19
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	21
2.1 Характеристика сировини	21
2.2 Приготування макаронних виробів.....	22
2.3 Хімічний аналіз	22
2.4 Фізичні властивості.....	25
2.5 Якість варіння макаронних виробів	26
2.6 Реологічні властивості	27
Висновки за розділом	29
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	30
3.1 Технологічний процес виготовлення макаронів	30
3.2 Хімічний аналіз	30
3.3 Фізичні властивості.....	33
3.4 Якість приготування макаронних виробів.....	35
3.5 Реологічні властивості	37
Висновки за розділом	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	41
Висновки за розділом	46
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	47
Висновки за розділом	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	52
БІБЛІОГРАФІЯ	54

ВСТУП

Макаронні вироби є одним із найпоширеніших продуктів харчування у світі, що характеризуються високими споживчими властивостями, тривалим терміном зберігання, простотою приготування та добрим засвоєнням організмом. Традиційною сировиною для їх виробництва є борошно з твердих сортів пшениці (дурум), яке забезпечує виробам пружну структуру, характерний колір і смакові якості. Однак сучасні тенденції розвитку харчової промисловості спрямовані не лише на покращення органолептичних показників продукції, а й на підвищення її харчової та біологічної цінності.

Одним із перспективних напрямів удосконалення технології макаронного виробництва є використання нетрадиційної рослинної сировини, зокрема білково-збагачених добавок. До таких належить люпинове борошно, яке вирізняється високим умістом легкозасвоюваного рослинного білка (до 40%), клітковини, мінеральних речовин і вітамінів групи В, а також не містить глютену. Введення люпинового борошна до складу макаронного тіста дає можливість підвищити біологічну цінність готових виробів, збалансувати амінокислотний склад білків, зменшити частку вуглеводів і жирів, що особливо важливо для дієтичного та функціонального харчування.

Разом з тим, збагачення традиційної рецептури потребує науково обґрунтованого підходу, оскільки введення нетипової сировини може змінювати реологічні властивості тіста, структуру макаронних виробів, їх колір, смак і термічну стійкість під час варіння. Тому актуальним є завдання розроблення та обґрунтування технології виробництва макаронних виробів з твердих сортів пшениці, збагачених люпиновим борошном, яка забезпечить оптимальне поєднання високої харчової цінності, стабільних фізико-хімічних показників і належних органолептичних властивостей.

Метою дослідження є обґрунтування технологічних параметрів і рецептурного складу макаронних виробів з твердих сортів пшениці із частковим заміщенням пшеничного борошна люпиновим, що дозволить підвищити їхню

харчову цінність та розширити асортимент продуктів функціонального призначення.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан виробництва макаронних виробів, визначити основні фактори, що впливають на їх якість, та оцінити можливості використання люпинового борошна.

2. Провести характеристику сировини та визначити хімічні, фізичні та реологічні властивості макаронних виробів.

3. Розробити та експериментально дослідити технологічний процес виготовлення макаронних виробів із різним складом сировини.

4. Встановити вплив складу борошна та технологічних параметрів на якість варіння та реологічні властивості макаронів.

5. Оцінити організаційно-економічні аспекти виробництва та питання охорони праці і захисту навколишнього середовища під час виготовлення макаронних виробів.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виробництва макаронних виробів із твердих сортів пшениці.

Предмет дослідження: вплив часткового заміщення пшеничного борошна люпиновим на фізико-хімічні, реологічні та органолептичні показники макаронних виробів, а також на їх харчову цінність і якість.

1 ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ

1.1 Значення та сучасний стан виробництва макаронних виробів

Макарони є одним із найпоширеніших та найпопулярніших продуктів харчування завдяки їх сенсорним та поживним властивостям, зручності та універсальності [1]. Повідомляється, що щорічно у світі виробляють близько 14,3 млн тонн макаронів. Основним виробником є Італія, за нею слідують США, Бразилія, Туреччина. Найбільшими споживачами макаронів є італійці – 23,1 кг на душу населення на рік, далі тунісці (17 кг), венесуельці (12 кг) та греки (11,4 кг) [2]. Згідно з італійським законодавством, «сушені макарони» повинні вироблятися з води та твердої пшениці, тобто з сеголіни, крупної сеголіни або цільнозернової сеголіни [3]. Хоча в інших країнах світу (за винятком Франції та Греції) для виробництва макаронів можна використовувати звичайну пшеницю (*Triticum aestivum* L.), відомо, що тільки тверда сеголіна забезпечує найкращу якість продукту з точки зору реологічних властивостей тіста, якості варіння та сприйняття споживачем [4,5]. Разом із тим, звичайна пшениця приблизно на 20–25% дешевша за тверду, що робить її привабливою сировиною для світового виробництва завдяки високій доступності та економічності [6].

Макарони відіграють ключову роль у середземноморській дієті. ВООЗ (Всесвітня організація охорони здоров'я) та ФАО (Продовольча та сільськогосподарська організація ООН) визначають макарони як здорову, стійку та якісну модель харчування. Крім того, у 2010 році ЮНЕСКО визнало макарони нематеріальною культурною спадщиною людства [7]. Однією з основних причин популярності макаронів є їхній поживний профіль. Вони зазвичай містять мало жирів і легко засвоювані вуглеводи [8]. Крім того, макарони можуть бути джерелом корисних компонентів, таких як клітковина або пребіотики [9,10]. Низька ціна та тривалий термін зберігання роблять їх популярними серед різних груп споживачів [11].

Хоча макарони вважаються традиційним продуктом, галузь виробництва

макаронів змогла еволюціонувати протягом років, щоб відповідати потребам ринку, який розширився від Італії до всього світу. Це досягалося як підвищенням ефективності виробництва, так і поліпшенням якості продукції з точки зору гігієни, сенсорних та харчових властивостей. Ці аспекти стимулюють інновації у виробництві макаронів. Прикладами інновацій є макарони цільнозернові, багатозернові, безглютенкові, з бобових та з овочевими добавками. Споживачі цінують смак і поведінку при варінні семолінових макаронів [12] та корисні властивості макаронів збагачених клітковиною [13].

Водночас споживачі зазвичай не усвідомлюють складнощів виробництва таких продуктів, технологічних знань та інновацій, які приховані за кожною упаковкою макаронів. Зміна навіть одного параметра, наприклад типу сировини (очищена чи цільнозернова семоліна), може вплинути на весь процес та якість продукту. У цьому контексті важливо виділити чинники, що впливають на процес, щоб правильно адаптувати технологію та отримати кінцевий продукт високої якості.

1.2 Дослідження тенденцій і факторів якості макаронних виробів

Існує безліч причин цього тренду, які частково пояснюють перехід пасти від «традиційного італійського продукту» до «продукту міжнародного успіху» [14]. Макаронні вироби популярні завдяки простоті рецептури (вони можуть містити лише два інгредієнти: семоліну з твердих сортів пшениці або пшеничне борошно та воду), технологічному процесу виробництва (безперервний, повністю автоматизований процес з невеликою кількістю операцій) та способам приготування споживачем готової страви. Суха паста характеризується тривалим терміном зберігання – до трьох років завдяки низькій вологості (зазвичай менше 12,5%) та високою здатністю адаптуватися до різних смакових уподобань та кулінарних традицій. Крім того, у поєднанні з овочевими, м'ясними або рибними соусами вона забезпечує повноцінну та збалансовану страву з середнім або низьким глікемічним індексом [15], що обумовлено технологічним процесом

формування щільної структури тіста, повільно доступної для ферментів травної системи [16,17].

Більшість досліджень зосереджені на рецептурі макаронних виробів, зокрема з використанням борошна з зерен, відмінних від твердих сортів пшениці (або їх фракцій), а також інших інгредієнтів (включно з овочами) для покращення харчового профілю пасти [11,18–23]. Споживчий інтерес до різних видів пасти відображає зміну ринкових тенденцій та прагнення отримати певні харчові переваги завдяки специфічним альтернативним сировинним інгредієнтам.

Стратегії та можливості виробництва функціональної пасти активно обговорювались протягом останніх десяти років [11,18–23]. Спільним для цих досліджень є усвідомлення того, що паста може бути ефективним носієм біологічно активних компонентів, зокрема харчових волокон. Наприклад, порція 80 г цільнозернової пасти забезпечує до 6 г із рекомендованих 25 г харчових волокон на день для людей із енергетичною потребою менше 2000 ккал/день [24]. З літератури випливає, що основна мета дослідників – визначити максимальний рівень збагачення пасти волокнами або їх джерелом для отримання харчової користі без зниження якості кінцевого продукту з точки зору варильних властивостей та сенсорного профілю. Загалом, якість збагаченої пасти залишається близькою до традиційної для рівня збагачення $\leq 10\%$ [20], тоді як при вищих рівнях можливе суттєве зниження якості, що вказує на необхідність додаткових досліджень для оптимізації технологічного процесу при виробництві волокнистої пасти.

Макарони формуються у стрічки, шнури, трубки та різні спеціальні форми, створені з урахуванням їхніх функціональних властивостей, таких як здатність утримувати тепло або соуси. Серед популярних ниткових форм – спагеті, спагеттіни та вермішель; трубчасті форми – макарони, елбоу, ригатоні та інші; стрічкові форми – лазанья, лінгвіні; зернисті чи подрібнені форми – фарфель. До спеціальних декоративних форм належать фарфаллоні (великі метелики), ланчетте (маленькі списки), фузіллі (веретена), річчіоліне (маленькі завитки).



Рисунок 1.1 – Види форм макаронних виробів

1.3 Огляд досліджень процесу виробництва макаронних виробів

Що стосується технології, виготовлення макаронів є безперервним процесом, який складається з трьох основних етапів (рис. 1.2): дозування та змішування інгредієнтів, заміс і формування (екструзія або розкочування тіста), а також сушіння. Незважаючи на велику кількість бібліографічної інформації про макарони, питання «Що має більше значення – сировина чи процес виробництва?» досі залишається відкритим, особливо з урахуванням того, що макарони з цільного зерна стають дедалі популярнішими.

Добре відомо, що тверда пшенична семоліна з високим вмістом білка та міцною клейковиною – здатною витримувати фізичні навантаження під час екструзії, сушіння та варіння – є ідеальною сировиною для макаронів високої якості. Проте навіть використання семоліни хорошої якості не гарантує

виробництво макаронів високої якості, якщо кожен етап безперервного процесу виготовлення макаронів не виконується належним чином. Таблиця 1 узагальнює мету кожного етапу процесу виготовлення макаронів разом з внутрішніми та зовнішніми параметрами, які впливають на тісто та/або макарони. Варто зазначити, що процес виготовлення макаронів із безглютенової сировини описаний в інших джерелах.

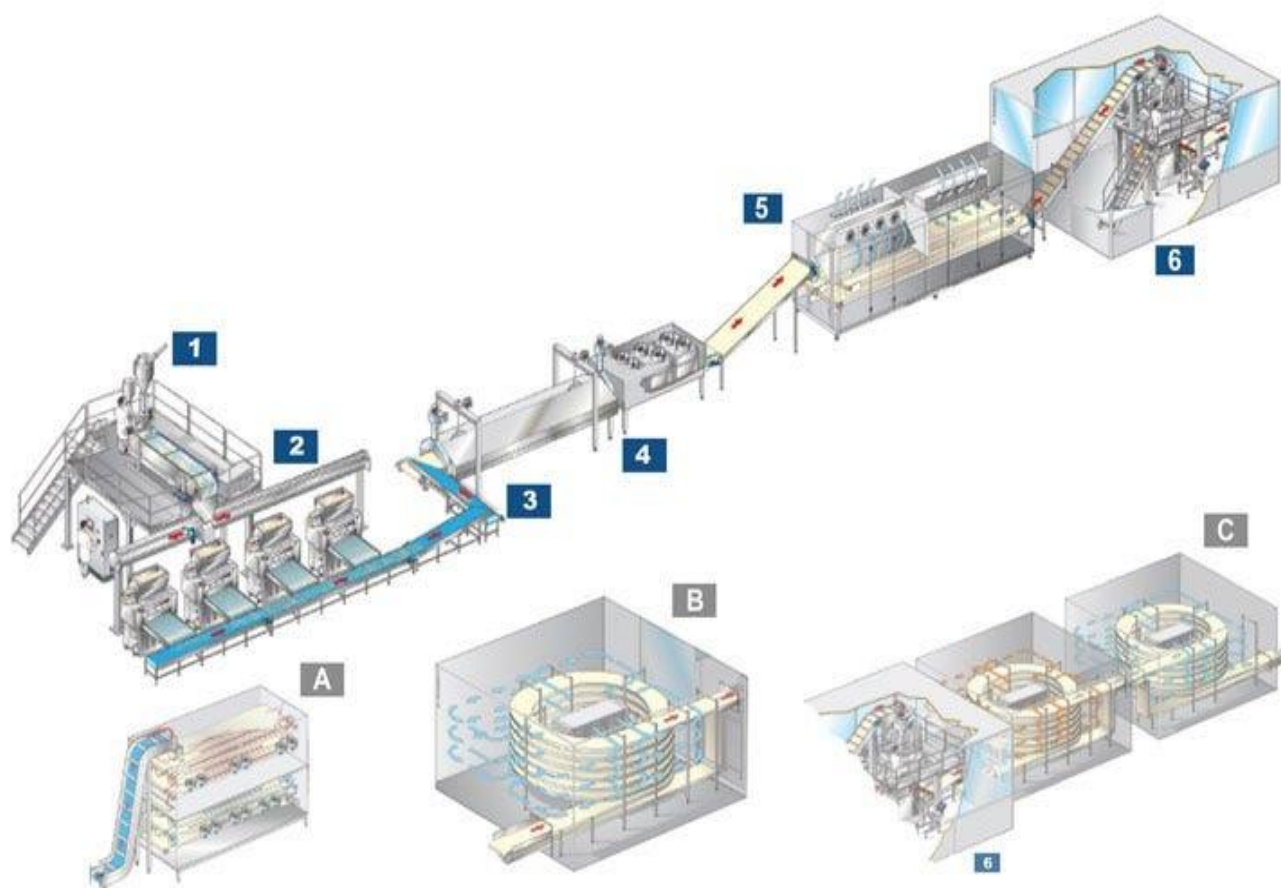


Рисунок 1.2 – Технологія виробництва макаронних виробів

До цього часу вплив кожного етапу виробництва макаронів оцінювали з точки зору його впливу на структуру та якість макаронів. З іншого боку, вплив змінних процесу (наприклад, рівня гідратації, тиску/температури/механічної енергії екструзії) на якість макаронів ще не досліджений повністю. Виходячи з цього, у наступних розділах буде розглянута роль основних змінних, що беруть участь на кожному етапі процесу виготовлення макаронів, у формуванні їхньої

якості.



Рисунок 1.3 – Фото виробництва макаронних виробів

Від дозування до змішування. На першому етапі виробництва макаронів семоліну та воду точно дозують і змішують для отримання суміші з вологістю близько 30–32%. Вода додається у значно меншій кількості, ніж у хлібопеченні, що забезпечує правильне зволоження білків при частковому розвитку клейковини. Правильне зволоження білків є ключовим для формування однорідної клейковинної мережі, яка обмежує надмірне набухання крохмалю під час варіння.

Властивості семоліни, такі як вміст білка, золи, клітковини, пошкодженого

крохмалю та розмір часток, впливають на якість макаронів. Зразки з низьким вмістом золи і пошкодженого крохмалю дають продукти з амберним кольором та низьким рівнем теплового пошкодження. Великі частки семоліни забезпечують повільне зволоження, а надмірне подрібнення — нерівномірну гідратацію.

Таблиця 1.1 – Параметри, що впливають на якість тіста та макаронних виробів

Операція	Мета	Внутрішні параметри, що впливають на тісто/макарони	Зовнішні параметри, що впливають на тісто/макарони
Дозування, змішування та заміс	Дозувати у правильних пропорціях семоліну та воду (25–27 частин води на 100 частин семоліни); зволожити крохмаль та білки	Розмір часток семоліни; вміст білка, золи, клітковини та пошкодженого крохмалю; активність ферментів	Температура води та залишковий вміст; наявність попереднього змішувача; ступінь вакууму
Заміс та формування шляхом екструзії	Часткове формування клейковинної мережі; надання тіста форми	Міцність клейковини; вологість тіста; температура тіста; в'язкість тіста	Подача суміші в екструдер; геометрія гвинта (довжина, конструкція тощо); умови екструзії (питома механічна енергія, швидкість гвинта, система регулювання нагріву тощо); форма виробу; матеріал фільтри; відкрита поверхня фільтри (кількість та розташування вставок)
Сушіння	Видалення води; забезпечення цілісності форми; збереження харчової цінності	Міцність клейковини; властивості пастування крохмалю	Температура повітря; відносна вологість повітря; тривалість сушіння

Вплив гідратації на екструзію та якість макаронів. Кількість води та її рівномірний розподіл критично важливі, оскільки помилки на цьому етапі важко виправити надалі. Недостатня гідратація спричиняє білі плями у готовому виробі,

а надмірна – липку структуру та погану якість варіння.

Підвищення рівня гідратації зменшує тиск і механічну енергію під час екструзії, знижуючи діаметр та щільність спагеті та впливаючи на їх твердість і втрати при варінні. Занадто висока гідратація може також погіршувати колір виробу.

Вплив складу суміші на гідратацію. При використанні альтернативних інгредієнтів, таких як борошно з інших зерен чи клітковина, гідратація стає ще важливішою. Клітковина, завдяки високій здатності поглинати воду, зменшує її доступність для білків, що ускладнює формування однорідної клейковинної мережі.

Високоволокнисті суміші потребують більше води для досягнення аналогічної в'язкості тіста. Занадто велика гідратація може знизити твердість макаронів та збільшити втрати при варінні. Одним із рішень є окреме зволоження семоліни та клітковини перед екструзією, що покращує структуру та сенсорні властивості готового продукту.

Нові системи гідратації. Для забезпечення рівномірного зволоження рекомендується використовувати семоліну з низьким вмістом золи та клітковини, середнього або великого розміру часток (250–450 мкм). Нові системи, такі як Polumatic, Premix або Vakmix, об'єднують попереднє змішування та основний заміс, забезпечують швидке та рівномірне зволоження та зменшують час обробки. Такі системи покращують колір та чистоту макаронів, але можуть потребувати підвищеної гідратації для формування оптимальної клейковинної матриці.

Від замісу до формування. Формування макаронів здійснюється екструзією або розкочуванням. Екструзія забезпечує компактність маси та кращу продуктивність, дозволяючи отримати понад 200 форм макаронів. Під час екструзії та формування якість гідратації та характеристик сировини визначає цілісність клейковинної мережі. Недостатня якість або невірні умови екструзії можуть призвести до передчасного набухання крохмалю, порушення структури та погіршення якості варіння. Для уникнення цих проблем рекомендується підтримувати температуру екструзії нижче 50 °C та використовувати сорти

семоліни з високою температурою желатинізації крохмалю.

Вплив параметрів екструзії на якість макаронів. Серед параметрів екструзії тиск і специфічна механічна енергія (SME) використовуються для оцінки процесу та залежать від рівня гідратації, швидкості гвинта та температури екструзії. Надмірно зволене тісто має низьку щільність і менший SME, що зменшує агрегацію білків і формування клейковинної мережі, а також щільність спагеті. Високий вміст вологи та наявність жирів або висівок зменшують SME, полегшуючи екструзію та утворюючи макарони меншого діаметра.

Температура екструзії сильно впливає на втрати при варінні: підвищення від 35 до 70 °C може збільшити їх до 250%. Оптимальна температура для семоліни – 40–50 °C, оскільки білки не денатуруються, а тісто стає більш текучим. Вплив різних умов (гідратація, температура води, час замісу, температура екструзії, швидкість гвинта) на якість макаронів показав, що найважливішими є рівень гідратації та температура екструзії.

Матеріал насадок також впливає: тефлон дає гладку яскраво-жовту поверхню, бронза – шорстку і більш пористу, що знижує міцність та збільшує ризик пошкодження комахами.

Тип формування. Екструзія забезпечує компактність та високу продуктивність, але білкова мережа формується частково, крохмаль частково руйнується, що може впливати на реакції Майяра у свіжих макаронах. Розкочування формує більш однорідну клейковинну мережу та зменшує дисперсію крохмалю під час варіння. Вплив типу формування на смакові якості мінімальний, особливо при використанні яєць.

При використанні звичайної пшениці екструзія дає більш щільну структуру та довший час варіння, але не завжди кращу якість. Для сумішей із гречкою переважно застосовують екструзію з подальшим розкочуванням для отримання компактною та однорідною структури.

Сушіння визначає фізичну та хімічну стабільність макаронів і тривалість зберігання. Температура, вологість і тривалість сушіння впливають на коагуляцію білків, набухання крохмалю та якість варіння. Високі температури (>65 °C)

покращують сенсорні характеристики макаронів з низькобілкової семолини, але можуть підвищувати втрати та утворення продуктів реакції Майяра (furosine).

Сушіння при низьких температурах (40–60 °C) знижує втрати при варінні та підвищує міцність макаронів. Використання цільнозернової семолини збільшує вміст furosine, що може впливати на гіркоту, тоді як для звичайної пшениці температура сушіння суттєво не впливає на смак та аромат.

1.4 Використання люпинового борошна

Люпинове борошно отримують з насіння бобових рослин роду *Lupinus* і воно має високий вміст білка (до 40%) та харчових волокон, а також низький вміст крохмалю. Завдяки цьому люпинове борошно може підвищувати поживну цінність макаронних виробів, особливо білкових, без істотного збільшення глікемічного індексу.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд люпинового борошна

Компоненти, що належать до розчинних харчових волокон, зокрема β -глюкани з вівса та ячменю, мають доведений гіпоглікемічний ефект. Водночас заміщення семоліни нетрадиційною сировиною, що містить харчові волокна, може послаблювати білково-крохмальну матрицю та негативно впливати на кулінарні й сенсорні властивості макаронів. Негативний ефект від високоволокнистих добавок можна зменшити введенням у продукт глютену. Використання 5% глютену зміцнює структуру білкової сітки у збагачених волокнами макаронах і забезпечує отримання продукту високої якості.

Наукові джерела свідчать, що насіння білого люпину (*Lupinus albus* L.) є перспективною сировиною, яка позитивно впливає на постпрандіальну глікемію. Протягом багатьох років дослідники звертають увагу на цінні поживні властивості цього бобового та простоту і низьку вартість його вирощування. Насіння білого люпину містить до 40% білка та до 39% клітковини. У ньому також є 8–12% жиру, багатого на ненасичені жирні кислоти, головним чином α -ліноленову кислоту та ситостероли. У порівнянні з іншими бобовими культурами, люпинове насіння містить мало засвоюваних вуглеводів (близько 3,5%) і є джерелом мінералів та біологічно активних речовин – токоферолів, каротиноїдів, фенольних кислот і флавоноїдів.

Білок люпину має високу біологічну цінність, порівняну з білком яєць. Його характеризує високий індекс незамінних амінокислот (EAAI) та коефіцієнт білкової ефективності (PER), зумовлені наявністю лізину та тирозину. Білки люпину мають відмінну засвоюваність (80,0–85,8%), близьку до казеїну (87,1%). Додавання люпину до пшеничного борошна підвищує не лише вміст білка, а й його біологічну цінність. За амінокислотним складом білки пшениці та люпину є взаємодоповнюючими: люпин містить більше фенілаланіну, тирозину та лізину, але менше сірковмісних амінокислот (метіоніну та цистину), тоді як у пшениці – навпаки.

У білках люпину переважають глобуліни (α -, β -, γ -, δ -конглатіни), які становлять 85–88% від загального вмісту білка. Вміст альбумінів приблизно у дев'ять разів менший, а проламіни присутні лише у незначній кількості. Глобуліни

люпину мають багатовекторну позитивну дію на організм людини: γ -конглютини знижують рівень глюкози та інсуліну в крові, інші фракції – рівень холестерину і тригліцеридів, а також нормалізують артеріальний тиск.

Слід зазначити, що насіння люпину містить також антипоживні речовини, зокрема олігосахариди та алкалоїди, які зумовлюють характерний гіркий смак. Для харчових цілей використовуються низькоалкалоїдні («солодкі») сорти, у яких вміст алкалоїдів не перевищує 500 мг/кг насіння. У деяких країнах (Австралія, Нова Зеландія, Франція, Велика Британія) встановлено ще суворіший норматив – не більше 200 мг алкалоїдів/кг люпинового борошна або продуктів із люпином. Ефективною стратегією для зниження вмісту α -галактозидів у люпиновому борошні є виділення лише білкової фракції з утворенням ізоляту білка люпину.

Окрім люпинового борошна, позитивний вплив на зниження ГІ макаронних виробів може мати просове (пшоняне) борошно. Пшоно характеризується низькою засвоюваністю крохмалю, що зумовлено простими методами обробки сировини, а також наявністю клітковини, поліфенолів і ненасичених жирних кислот. Просове борошно за зовнішнім виглядом подібне до семоліни та має ніжний смак, який може нейтралізувати присмак бобових. Вплив борошна з пальчиковаго проса на харчову цінність і ГІ макаронів виявили суттєве зниження ГІ після заміни 30% пшеничного борошна на просове (45,13% для збагачених макаронів проти 62,59% для контрольних). Отже, просове борошно є цінним заміником семоліни з точки зору впливу на глікемію.

У науковій літературі описано спроби збагачення зернових продуктів люпиновим борошном. Зокрема, пшеничне борошно замінювали люпиновим при виготовленні макаронів, у результаті чого отримували вироби з підвищеним вмістом білка. Також було створено безглютенові макарони на основі рисового борошна з додаванням яєць, люпинового борошна та гуарової камеді з покращеними харчовими властивостями. Люпин використовували і для збагачення пшеничного хліба. Крім того, існують роботи, у яких досліджено вплив ізоляту білка люпину на *in vitro* перетравлення крохмалю.

Висновки за розділом

1. Макарони є важливим продуктом харчування завдяки зручності, доступності та поживним властивостям, а також є складовою середземноморської дієти. Сучасне виробництво розвинене у багатьох країнах світу, з основним акцентом на використанні твердої пшениці для забезпечення високої якості кінцевого продукту. Існує тенденція до інновацій, зокрема виготовлення цільнозернових, багатозернових, безглютенових макаронів та продуктів із додаванням бобових і овочів. Водночас споживачі часто не усвідомлюють складності технологічного процесу, який впливає на якість продукту.

2. Популярність макаронів пояснюється простотою рецептури, технологічністю процесу виробництва та довгим терміном зберігання. Використання альтернативних інгредієнтів, таких як борошно з інших зернових або клітковина, дозволяє покращити харчовий профіль продукту, але вимагає оптимізації технології. Функціональна паста може забезпечувати значну частку добової норми харчових волокон без погіршення якості варіння при збагаченні до 10%. Важливе значення має форма макаронів, яка впливає на кулінарні та функціональні властивості готового продукту.

3. Виробництво макаронів є безперервним процесом, що включає дозування та змішування, заміс і формування, а також сушіння, при цьому якість кожного етапу критично впливає на кінцевий продукт. Важливі параметри – рівень гідратації, температура та механічна енергія екструзії, склад сировини та тип формування – визначають текстуру, міцність і втрати при варінні макаронів. Використання нових систем гідратації та контроль технологічних параметрів дозволяє покращити однорідність тіста та якість макаронів. Сушіння та матеріал фільтер також впливають на сенсорні властивості та стабільність виробів.

4. Люпинове борошно є перспективним інгредієнтом для збагачення макаронів білком та харчовими волокнами, що сприяє зниженню глікемічного індексу продукту. Використання люпину вимагає врахування його впливу на

білково-крохмальну матрицю, який можна компенсувати додаванням глютену або інших білкових компонентів. Біологічна цінність білка люпину висока, він містить важливі незамінні амінокислоти та біоактивні компоненти, що позитивно впливають на організм людини. Дослідження показують, що люпин та інші нетрадиційні інгредієнти можуть ефективно збагачувати макарони, покращуючи їх харчові властивості без значного погіршення смакових якостей.

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Характеристика сировини

Для виробництва макаронних виробів основним інгредієнтом використовувалася тверда пшенична семоліна українського виробництва. Інші компоненти включали люпинове борошно (сертифіковане, вміст алкалоїдів $\leq 0,2$ г/кг сухої речовини), пшеничний глютен (вітальний, українського виробництва), вівсяні β -глюкани (сертифіковані харчові добавки) та просове борошно (українського виробництва).

Детальна модель експерименту наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Модель експерименту

Зразки макаронних виробів	Сировина, %					Волога, %	Параметри процесу	
	Тверда пшенична крупа	Люпинове борошно	β -Глюкани	Клейковина	Пшоняне борошно		Тиск, МПа	Температура, °C
Контроль	100	0	0	0	0	33	8,5	28,8
LF0	87,6	0	7,4	5	0	31	13,5	28,8
LF5	82,6	5	7,4	5	0	31	13,5	29,2
LF10	77,6	10	7,4	5	0	31	13,5	29,7
LF15	72,6	15	7,4	5	0	31	13,5	29,3
LF20	67,6	20	7,4	5	0	31,5	13,5	29,2
LF25	62,6	25	7,4	5	0	31,5	13,5	29,1
LFM20	35,1	20	19,9	5	20	32	13,5	28,3

LF – зразки з додаванням люпинового борошна; LFM – зразок із додаванням люпинового та просового борошна.

Контрольний зразок складався лише з твердої пшеничної семоліни. Додаток люпинового борошна варіювався і складав 0, 5, 10, 15, 20 та 25% (зразки LF0, LF5, LF10, LF15, LF20 та LF25 відповідно). Для всіх зразків LF0–LF25 додавали постійну дозу β -глюканів (7,5%) та пшеничного глютену (5%) для стабілізації

клейковинної структури та поліпшення текстури макаронів.

У зразку LFM20 використовували комбіновану рецептуру: 20% люпинового борошна, 20% просового борошна, 20% вівсяних β -глюканів та 5% глютену. Такий склад дозволяв оцінити вплив високого вмісту білкових і волокнистих компонентів на фізико-хімічні та реологічні властивості макаронних виробів.

2.2 Приготування макаронних виробів

Для виробництва макаронів у напівтехнічних умовах використовували екструдер MAC-30S з продуктивністю 30 кг сирого тіста на годину (рис. 2.1) та сушарку для макаронних виробів EAC30-LAB (рис. 2.2) на виробництві ТОВ «Стас і К». Інгредієнти відповідно до рецептури дозувалися у змішувач екструдера та змішувалися протягом 15 хвилин. Після цього тісто переносили у нижній бак змішувача і продовжували змішування під вакуумом. Одночасно запускали гвинт екструдера, і формували макарони у вигляді фузілі. Швидкість обертання гвинта екструдера становила 48 об/хв. Використовували тефлонову фільтру. Для екструзії макаронів застосовували такі умови: температура циліндра – 30°C, тиск екструзії – 12 МПа, температура фільтру – 40°C. Після екструзії макарони попередньо сушили, формували у вигляді тальятелле вагою приблизно 40 г та укладали на сита. Тривалість сушіння становила 7 годин. Зразки макаронів сушили за контрольованої температури та відносної вологості повітря.

2.3 Хімічний аналіз

Методи визначення хімічного складу сировини та макаронних виробів здійснювали відповідно до стандартів ААСС та АОАС [29,30]. Вологість зразків визначали за методикою ААСС 44-15А, що передбачає висушування точно відваженої порції зразка при контрольованій температурі до стабільної маси, після чого обчислюють вміст води у відсотках від маси зразка. Вміст золи визначали за методикою ААСС 08-01 шляхом повного згоряння органічної частини зразка у

муфельній печі при високій температурі (приблизно 550 °С), що дозволяє оцінити загальну мінеральну складову продукції.



Рисунок 2.1 – Екструдер MAC-30S



Рисунок 2.2 – Сушарка для макаронних виробів EAC30-LAB

Вміст білка у сировині та готових макаронах визначали методом К'ельдаля з використанням автоматизованого аналізатора Kjelttec 2300 (рис. 2.3) відповідно до методики ААСС 46-08. Суть методу полягає у хімічному розкладі білкових сполук на амоніак шляхом кислотного розщеплення, наступному дистиляційно-титриметричному визначенні азоту, після чого загальний вміст білка розраховують, використовуючи коефіцієнт перерахунку 5,7, який відповідає середньому вмісту азоту у білках пшениці. Такий підхід дозволяє отримати точну кількісну характеристику білкових компонентів у зразках і є загальноприйнятим у харчовій хімії для оцінки харчової цінності макаронних виробів.



Kjelttec 2300



Soxtec™8000



RM 180

Рисунок 2.3 – Лабораторне обладнання

Вміст жиру у сировині та готових макаронних виробів визначали методом безперервної екстракції за допомогою приладу Soxtec™8000 (рис. 2.3). Суть методу полягає у розчиненні жирів у органічному розчиннику, у даному випадку гексані, з наступним відділенням та зважуванням екстрагованого жиру. Процедура включає попереднє висушування зразка, поміщення його у спеціальну кювету, багаторазову промивку розчинником при контролі температури та видалення розчинника після завершення екстракції. Отриманий осад жиру зважують, що

дозволяє розрахувати вміст жиру у відсотках від маси сухого зразка. Цей метод є стандартизованим і забезпечує точне та відтворюване визначення ліпідного складу продуктів харчування.

Вміст загальної харчової клітковини (TDF), нерозчинної клітковини (IDF) та розчинної клітковини (SDF) визначали за ферментативними методиками, що відповідають стандартам ААСС 32-05, ААСС 32-21, АОАС 991.43 та АОАС 985.29. Метод передбачає послідовне ферментативне розщеплення білків і крохмалю у зразку за допомогою специфічних ферментів, відокремлення нерозчинної частини клітковини шляхом фільтрування та визначення розчинної частини через осадження та висушування. Отримані маси дозволяють окремо визначати вміст розчинної та нерозчинної клітковини, а також загальний вміст харчової клітковини як суму цих двох фракцій.

Вміст перетравних (засвоюваних) вуглеводів розраховували опосередковано як різницю від 100% після віднімання сумарного вмісту макронутрієнтів: білка, жиру, золи та загальної харчової клітковини. Цей підхід дозволяє оцінити кількість вуглеводів, доступних для травлення та метаболізму, що важливо для визначення енергетичної цінності макаронних виробів та їх впливу на глікемічний індекс.

2.4 Фізичні властивості

В'язкість макаронного тіста досліджували за допомогою ротаційного реометра RM 180 із використанням програмного забезпечення RSI Orchestrator, версія V6.5.8 (рис. 2.3). Перед проведенням експерименту зразки тіста витримували при кімнатній температурі протягом 15 хвилин, щоб стабілізувати їх реологічні властивості та забезпечити однорідність структури. Підготовлене тісто розміщували у циліндричній камері реометра так, щоб воно повністю контактувало з робочою поверхнею, що дозволяло уникнути утворення повітряних бульбашок, які можуть спотворювати результати вимірювань.

Вимірювання проводили в режимі ротаційного потоку, при якому швидкість обертання ротора змінювали від 0,1 до 100 обертів за хвилину. Для забезпечення

стабільності фізико-хімічних властивостей тіста встановлювали постійну температуру 25°C за допомогою вбудованої системи термоконтролю. Під час роботи реометр фіксував зміну моменту обертання ротора залежно від швидкості зсуву, що дозволяло визначити апаратну (реєстровану) в'язкість тіста та побудувати криву залежності напруження зсуву від швидкості зсуву.

Для підвищення точності та відтворюваності даних для кожного зразка макаронного тіста проводили три паралельні вимірювання. На їх основі розраховували середнє значення в'язкості та стандартне відхилення, що дозволяло оцінити однорідність та стабільність тіста. Методика ротаційного реометричного аналізу забезпечує детальну характеристику текучості тіста, його здатності протистояти деформації та реологічну поведінку під час механічної обробки, екструзії та формування макаронних виробів, що є критично важливим для прогнозування якості кінцевого продукту.

2.5 Якість варіння макаронних виробів

Оптимальний час варіння та втрати при варінні (CL, г/100 г с.м.) визначали за методом ААСС 66-50.01. Індекс збільшення маси (WII) та індекс збільшення об'єму (VII) визначали відповідно до наступної методики.

Для визначення WII та VII зразки макаронів попередньо зважували (початкова маса та об'єм), після чого варили у киплячій дистильованій воді протягом часу, рівного ОСТ. Після варіння макарони відціджували, злегка промокали серветкою для видалення надлишку води, після чого знову зважували та вимірювали об'єм методом занурення у мензурку з водою.

Індекс збільшення маси (WII) обчислювали за формулою:

$$WII = \frac{M_{\text{вар}} - M_{\text{сух}}}{M_{\text{сух}}} \times 100, \quad (2.1)$$

де $M_{\text{вар}}$ – маса варених макаронів, $M_{\text{сух}}$ – маса сухих макаронів.

Індекс збільшення об'єму (VII) обчислювали за формулою:

$$V\Pi = \frac{V_{\text{вар}} - V_{\text{сух}}}{V_{\text{сух}}} \times 100, \quad (2.2)$$

де $V_{\text{вар}}$ – об'єм варених макаронів, $V_{\text{сух}}$ – об'єм сухих макаронів.

Кожне визначення проводили тричі для кожного зразка, після чого розраховували середнє значення та стандартне відхилення. Ця методика дозволяє оцінити здатність макаронних виробів до набухання та втрату сухих речовин під час варіння, що є важливими показниками їх якості та кулінарних властивостей.

2.6 Реологічні властивості

Визначення реологічних властивостей макаронних виробів на пенетрометрі проводили за допомогою обладнання розробленого на кафедрі інжинірингу технічних систем ДДАЕУ з циліндричним зондом (рис. 2.4). Для забезпечення стабільності температури макаронні зразки розташовували у термостатованій камері.

Сухі макарони використовували у вигляді «спіралі» довжиною 20–25 мм, а варені макарони попередньо варили протягом оптимального часу, відціджували та охолоджували до тестової температури. Зразки укладали на плоску підставку пенетрометра так, щоб забезпечити рівномірний контакт із зондом. Швидкість проникнення зонду становила 1–10 мм/с, а глибина проникнення – 5–10 мм для сухих та 10–20 мм для варених макаронів.

Пенетрометр калібрували відповідно до інструкції виробника, після чого зонд опускали до поверхні макарону і здійснювали проникнення з визначеною швидкістю.

Результатом вимірювання була крива сили проникнення від глибини проникнення, за допомогою якої визначали максимальну силу проникнення, що характеризує твердість або міцність макарону, модуль пружності, який оцінювався за нахилом початкової частини кривої, роботу проникнення, що відображала енергетичні витрати на деформацію, а також лінійність або пластичність матеріалу

за формою кривої.

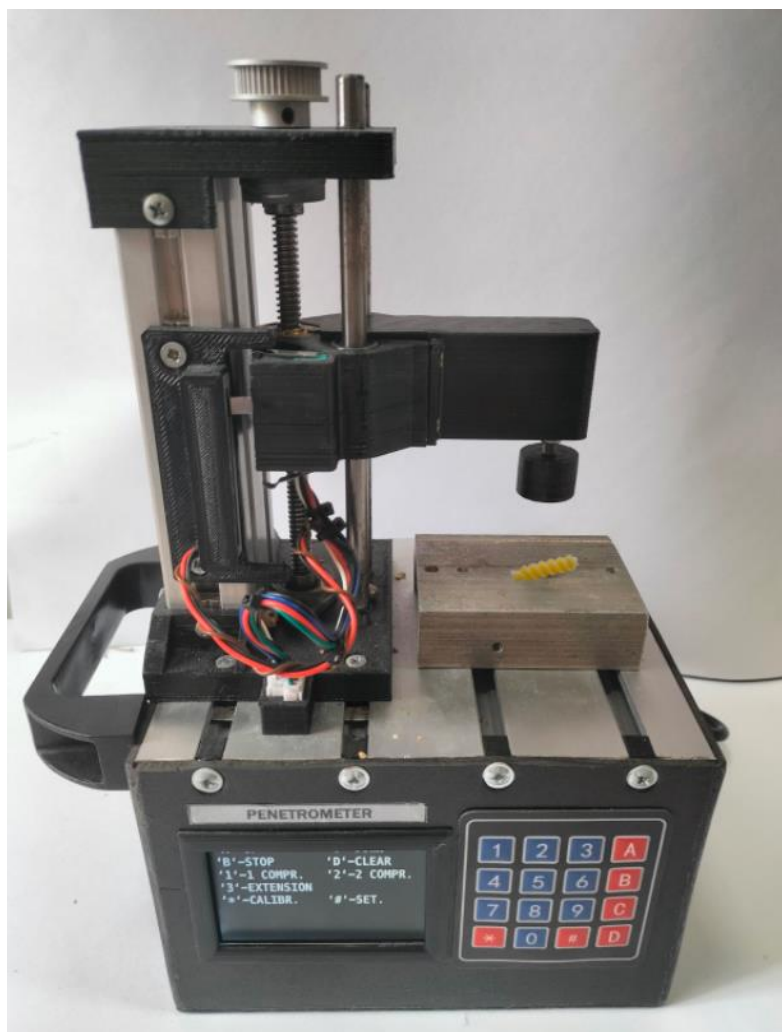


Рисунок 2.4 – Пенетрометр

Для кожного зразка проводили не менше трьох паралельних вимірювань, після чого розраховували середнє значення та стандартне відхилення.

Порівняння показників різних видів макаронних виробів дозволяло оцінити вплив рецептури, включаючи добавки збагачення, на їхні реологічні властивості.

Для варених макаронів особливо важливо підтримувати стабільну температуру під час тестування, щоб уникнути охолодження та зміни структури клейковини.

В'язкість тіста перед формуванням макаронів оцінювали окремо за допомогою реометра, тоді як готові макарони досліджували на пенетрометрі для

визначення механічних властивостей після сушіння та варіння.

Висновки за розділом

1. Для виробництва макаронних виробів використовувалася тверда пшенична семоліна українського виробництва як основний інгредієнт, а також додаткові компоненти: люпинове борошно з вмістом алкалоїдів $\leq 0,2$ г/кг с.м., пшеничний глютен, вівсяні β -глюкани та просове борошно. Рецептури включали як контрольний зразок з 100% семоліни, так і варіанти з додаванням люпинового борошна (0–25%), β -глюканів та глютену (LF0–LF25), а також комбінований зразок LFM20 із високим вмістом білкових та волокнистих компонентів.

2. Макарони формували за допомогою екструдера MAC-30S і сушили у сушарці EAC30-LAB у напівтехнічних умовах. Тісто змішували протягом 15 хвилин, після чого формували спіральні макарони фузіллі за допомогою тefлонової фільери при температурі циліндра 30°C, тиску 12 МПа та температурі фільери 40°C. Попереднє сушіння і остаточне сушіння тривало 7 годин при контрольованій температурі та вологості.

3. Хімічний склад сировини та макаронних виробів визначали за методиками ААСС та АОАС, включно з вмістом вологи, золи, білка (метод К'ельдаля, коефіцієнт 5,7), жиру (екстракція Soxtec™8000), загальної, розчинної та нерозчинної харчової клітковини. Вміст перетравних вуглеводів розраховували як різницю від 100% після віднімання суми макронутрієнтів.

4. Реологічні властивості тіста оцінювали за допомогою ротаційного реометра RM 180, а механічні властивості готових спіральних макаронів – на пенетрометрі з циліндричним зондом. Для варених макаронів проводили вимірювання при стабільній температурі, визначаючи максимальну силу проникнення, модуль пружності, роботу проникнення та пластичність матеріалу.

5. Якість варіння оцінювали за оптимальним часом варіння (ОСТ), втратами при варінні (CL), індексом збільшення маси (WII) та об'єму (VII). Для цього зразки варили, відціджували, зважували та вимірювали об'єм методом занурення у воду.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Технологічний процес виготовлення макаронів

Додавання люпинового борошна, а також вівсяних β -глюканів, глютену та просового борошна суттєво впливало на перебіг процесу екструзії макаронного тіста. Використання вівсяних β -глюканів і глютену у дослідних зразках (LF0, LF5, LF10, LF15, LF20, LF25, LFM20) призвело до підвищення тиску під час пресування порівняно з контрольним зразком (CON) (табл. 2.1). Якщо для контрольного зразка тиск становив 8,5 МПа, то для решти варіантів він зріс до 13,5 МПа.

Збільшення тиску під час формування макаронів пояснюється зменшенням пластичності тіста внаслідок введення сировини з високим умістом харчових волокон і білкових структур. Така сировина підвищує жорсткість тіста, ускладнює його протікання через отвори фільтри та знижує рухливість клейковинно-крохмальної матриці. Крім того, введення глютену сприяє утворенню більш міцної білково-крохмальної сітки, що ще більше збільшує опір потоку та потребу в підвищеному тиску. Передбачається, що підвищений вміст жиру у сировині забезпечує більшу пластичність тіста, полегшує його рух через фільтри та, відповідно, знижує робочий тиск у процесі пресування. Цей фактор є важливим при розробленні рецептур функціональних макаронних виробів, оскільки співвідношення між кількістю білкових і жирових компонентів визначає не лише механічні характеристики тіста, а й енергетичні витрати на виробництво.

Таким чином, оптимізація складу макаронного тіста із застосуванням люпинового, просового борошна, вівсяних β -глюканів та глютену потребує врахування не лише харчової цінності суміші, але й її впливу на реологічні властивості, тиск пресування та стабільність екструзійного процесу.

3.2 Хімічний аналіз

Хімічний склад зразків макаронних виробів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сировини та зразків макаронних виробів

Зразки	Вологість, %	Білок, %	Жир, %	Зола, %	Загальна харчова клітковина (TDF), %	Нерозчинна клітковина (IDF), %	Розчинна клітковина (SDF), %	Засвоєвані вуглеводи, %
Сировина								
Борошно із твердих сортів пшениці (семоліна)	9,51 ± 0,05	13,25 ± 0,85	1,11 ± 0,06	0,75 ± 0,02	3,88 ± 0,15	2,06 ± 0,07	1,82 ± 0,04	81,02 ± 1,02
Люпинове борошно	7,61 ± 0,06	40,96 ± 2,64	8,12 ± 0,27	2,97 ± 0,02	46,65 ± 2,18	35,76 ± 1,78	10,88 ± 0,44	1,26 ± 0,04
Просове борошно	11,13 ± 0,05	14,95 ± 0,92	4,23 ± 0,03	1,35 ± 0,02	12,47 ± 0,55	9,45 ± 0,56	1,82 ± 0,02	67,01 ± 0,88
Вівсяні β-глюкани	4,18 ± 0,06	8,44 ± 0,05	3,55 ± 0,07	1,98 ± 0,03	33,47 ± 1,27	0,63 ± 0,18	32,84 ± 1,11	52,52 ± 0,92
Глютен пшеничний (вігальний)	7,32 ± 0,04	70,98 ± 4,60	1,47 ± 0,02	0,58 ± 0,02	23,82 ± 0,67	22,68 ± 0,88	1,13 ± 0,21	3,14 ± 0,22
Зразки макаронів								
Контроль	8,84 ± 0,24	13,58 ± 0,18	1,66 ± 0,07	1,05 ± 0,02	4,43 ± 0,91	2,11 ± 0,62	2,32 ± 0,23	79,25 ± 1,18
LF0	9,38 ± 0,15	16,56 ± 0,61	2,47 ± 0,12	0,96 ± 0,01	9,32 ± 0,32	5,65 ± 0,22	3,65 ± 0,08	70,67 ± 1,78
LF5	9,37 ± 0,18	17,62 ± 0,55	2,74 ± 0,13	1,06 ± 0,04	10,68 ± 1,25	6,21 ± 0,01	4,45 ± 1,55	67,87 ± 2,87
LF10	8,83 ± 0,15	19,02 ± 0,24	3,06 ± 0,15	1,21 ± 0,07	11,63 ± 0,81	6,76 ± 0,02	4,86 ± 0,78	65,02 ± 2,1
LF15	9,54 ± 0,16	20,41 ± 0,51	3,36 ± 0,17	1,31 ± 0,07	12,98 ± 1,32	7,01 ± 0,56	5,97 ± 0,72	61,97 ± 2,79
LF20	9,54 ± 0,07	22,36 ± 0,32	3,34 ± 0,16	1,34 ± 0,01	17,31 ± 1,87	8,17 ± 0,44	9,15 ± 1,37	51,24 ± 0,62
LF25	9,51 ± 0,18	22,92 ± 0,01	3,98 ± 0,17	1,45 ± 0,01	20,61 ± 1,71	8,01 ± 2,43	11,55 ± 0,83	51,01 ± 2,65
LFM20	9,22 ± 0,03	20,76 ± 0,14	4,85 ± 0,22	1,45 ± 0,04	25,88 ± 0,84	14,32 ± 1,54	12,52 ± 1,35	47,02 ± 1,98

LF – зразки з додаванням люпинового борошна; LFM – зразок із додаванням люпинового та просового борошна.

Додавання люпинового борошна зумовило істотне ($p \leq 0.05$) підвищення вмісту білка. У зразку збагаченому 25% люпинового борошна (LF25), вміст білка був на 68% вищим порівняно з контрольним зразком. Натомість збільшення частки вівсяних β -глюканів від 7,5 до 20% (зразки LF20 та LFM20 відповідно), які характеризуються відносно низьким вмістом білка (8,45%), спричинило зниження його концентрації в макаронних виробках. Подібна закономірність спостерігалася у дослідженні впливу додавання β -глюканів вівса на фізико-хімічні властивості макаронів [10], де збільшення частки β -глюканів до 20% супроводжувалося достовірним ($p \leq 0.05$) зниженням вмісту білка.

Одним із найважливіших чинників, що визначають якість макаронів, є клейковинна сітка, яка оточує крохмальні гранули. Вищий вміст білків, здатних до утворення глютену, сприяє формуванню міцної білково-крохмальної матриці. Проте введення білків бобових, основними фракціями яких є альбуміни та глобуліни, може послабити структуру цієї матриці, оскільки вони не беруть участі у формуванні клейковинного каркасу. З огляду на це, до зразків, збагачених білками бобових, додавали пшеничний глютен, що забезпечував стабілізацію структури тіста та формування міцнішої клейковинної сітки, стійкої до термічної обробки.

У даному дослідженні разом із підвищенням частки люпинового борошна спостерігалася достовірне ($p \leq 0.05$) збільшення вмісту золи та жиру, що закономірно пов'язано з більшою часткою насіння бобових у рецептурі. Між зразком LFM20 (із додаванням просового борошна) та зразками LF15–LF25 не було суттєвих відмінностей за вмістом золи, однак зразок LFM20 мав найвищий вміст жиру ($p \leq 0.05$), достовірно відмінний від усіх інших.

Збільшення зольності може свідчити про вищий вміст мінеральних речовин, що корелює з більшим умістом харчових волокон [4]. Наявність жиру, у свою чергу, позитивно впливає на технологічну якість макаронів, підвищуючи стабільність крохмально-білкової матриці та зменшуючи втрати сухих речовин під час варіння [38].

Встановлено також достовірне ($p \leq 0.05$) збільшення вмісту загальних

харчових волокон із підвищенням частки люпинового борошна. Особливо виражене зростання спостерігалось у зразку LFM20, який містив найбільшу кількість високо-волокнистих компонентів (люпинове, вівсяне та просове борошно). Вміст TDF у зразках LF25 і LFM20 був відповідно у 4 та 5 разів вищим, ніж у контрольному зразку.

Вміст розчинних харчових волокон був достовірно ($p \leq 0.05$) вищим у зразку з просовим борошном (LFM20), що пов'язано з найбільшою часткою вівсяних β -глюканів, які містять близько 32,55% розчинних волокон у перерахунку на суху речовину. Водночас у зразках LF20 та LF25 спостерігалось п'ятикратне збільшення вмісту нерозчинних харчових волокон порівняно з контролем.

Збільшення кількості харчових волокон у зразках, збагачених люпиновим борошном, супроводжувалося достовірним ($p \leq 0.05$) зниженням вмісту засвоюваних вуглеводів порівняно з контрольним зразком. Це свідчить про потенційну здатність таких макаронів зменшувати глікемічну реакцію після споживання.

Слід підкреслити, що під час термічної обробки макаронів харчові волокна конкурують із крохмальними гранулами за воду, що зменшує набухання і желатинізацію крохмалю та, відповідно, знижує його засвоюваність. Таким чином, збільшення частки люпинового та вівсяного борошна не лише підвищує харчову цінність продукту, але й сприяє формуванню функціональних властивостей – зниженню глікемічного індексу, підвищенню вмісту клітковини, білка і мінералів, а також покращенню метаболічної користі макаронних виробів.

3.3 Фізичні властивості

Додавання люпинового борошна не спричинило суттєвих змін у показниках в'язкості макаронних виробів (табл. 3.2). Основним чинником, що визначав цей параметр, виявилася частка вівсяних β -глюканів у рецептурі. Зразок LFM20, який містив найбільшу кількість β -глюканів (20%), характеризувався найвищою в'язкістю як під час нагрівання до температури 95 °C, так і після охолодження.

Таблиця 3.2 – Умовна в'язкість зразків макаронів (Па·с)

Зразки макаронних виробів	Нагрівання			Охолодження		
	T = 65 °C	T = 75 °C	T = 85 °C	T = 95 °C	T = 95 °C	T = 50 °C
Контроль	0,007	0,008	0,011	0,012	0,015	0,016
LF0	0,008	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016
LF5	0,010	0,010	0,013	0,013	0,015	0,016
LF10	0,010	0,010	0,012	0,014	0,015	0,016
LF15	0,009	0,011	0,013	0,013	0,015	0,016
LF20	0,011	0,011	0,013	0,013	0,014	0,015
LF25	0,010	0,012	0,012	0,014	0,014	0,016
LFM20	0,010	0,014	0,017	0,017	0,015	0,023

LF – зразки з додаванням люпинового борошна; LFM – зразки з додаванням люпинового та просового борошна. Дані наведено як середнє значення \pm стандартне відхилення. Значення кожного параметра з різними великими літерами у рядках статистично відрізняються ($p \leq 0,05$). Значення кожного параметра з різними малими літерами у стовпцях статистично відрізняються ($p \leq 0,05$).

В інших варіантах досліджу, незалежно від вмісту люпинового борошна, істотних відмінностей у показниках в'язкості на стадіях нагрівання та охолодження не зафіксовано.

Підвищення в'язкості макаронних сумішей і готових продуктів має важливе функціональне значення. Зокрема, така властивість забезпечує повільніше вивільнення та засвоєння вуглеводів, що сприяє зниженню глікемічного індексу (ГІ) готових виробів. Крім того, підвищена в'язкість у шлунково-кишковому тракті уповільнює всмоктування глюкози та холестерину, а також зменшує реабсорбцію жовчних кислот, що позитивно впливає на ліпідний обмін і може мати гіпохолестеринемічний ефект.

Таким чином, використання вівсяних β -глюканів у поєднанні з люпиновим борошном не лише збагачує макарони харчовими волокнами, але й надає їм функціональних властивостей, корисних для здоров'я споживача, зокрема при дієтичному харчуванні та профілактиці метаболічного синдрому.

3.4 Якість приготування макаронних виробів

Проведені дослідження показали, що зразки макаронних виробів, збагачені люпиновим борошном у кількості 20–25% (LF20, LF25 та LFM20), порівняно з іншими зразками, потребують значно більшого оптимального часу варіння – 11,5–12 хв (табл. 3.3). Для зразків, збагачених лише β -глюканами та вітальним глютенем (LF0), а також з додаванням люпинового борошна на рівні 5–15% (LF5–LF15), оптимальний час варіння становив 9–10 хв і не мав суттєвих відмінностей ($p \leq 0,05$).

Таблиця 3.3 – Показники якості варіння макаронних виробів

Зразок макаронів	Оптимальний час варіння, хв	Втрата сухих речовин, %	Збільшення маси при варінні	Збільшення об'єму при варінні
Контроль	9,2	4,53 ± 0,43	2,55	3,17
LF0	9,1	4,33 ± 0,15	2,47	2,69
LF5	9,3	4,26 ± 0,24	2,52	2,88
LF10	9,1	5,26 ± 0,18	2,51	2,95
LF15	10,3	5,72 ± 0,18	2,55	2,96
LF20	11,6	5,86 ± 0,09	2,62	3,11
LF25	12,1	7,11 ± 0,29	2,71	3,14
LFM20	12,2	7,44 ± 0,31	2,59	2,76

LF – макарони з додаванням люпинового борошна; LFM – макарони з люпиновим і просовим борошном. Дані наведено як середнє значення \pm стандартне відхилення. Значення кожного показника, що мають різні літерні індекси у стовпцях, відрізняються статистично значуще (тест Тьюкі, $p \leq 0,05$).

Додавання 15–20% β -глюканів суттєво збільшувало тривалість варіння, тоді як між контрольними зразками та виробами із вмістом 5–10% β -глюканів істотних відмінностей не спостерігалось.

Виявлені зміни ОЧВ можна пояснити високою водопоглинальною здатністю компонентів із підвищеним вмістом клітковини, які конкурують за вологу з крохмалем, що, у свою чергу, перешкоджає його набухання та клейстеризації.

Найвищі значення втрати сухих речовин при варінні спостерігалися у зразків LFM20 та LF25, які містили найбільшу кількість безглютенових борошен

(люпинового та просового). Підвищення втрати сухих речовин при варінні, ймовірно, пов'язане зі зниженням міцності клейковинного каркаса внаслідок збагачення тіста неманними компонентами. Поступове зростання втрати сухих речовин при варінні також спостерігалось при збільшенні частки просового борошна у макаронних виробих із манної крупи.

Водночас втрати сухих речовин у всіх зразках з додаванням люпинового борошна залишалися відносно низькими – не перевищували 8% від сухої маси.

У нашому дослідженні навіть при збагаченні 25% люпинового борошна втрати сухих речовин при варінні не перевищував 8%, проте зовнішній вигляд готового продукту (рис. 3.1) свідчить, що таке дозування є надмірним. Зразок LF25 після варіння втрачає форму та деформується.

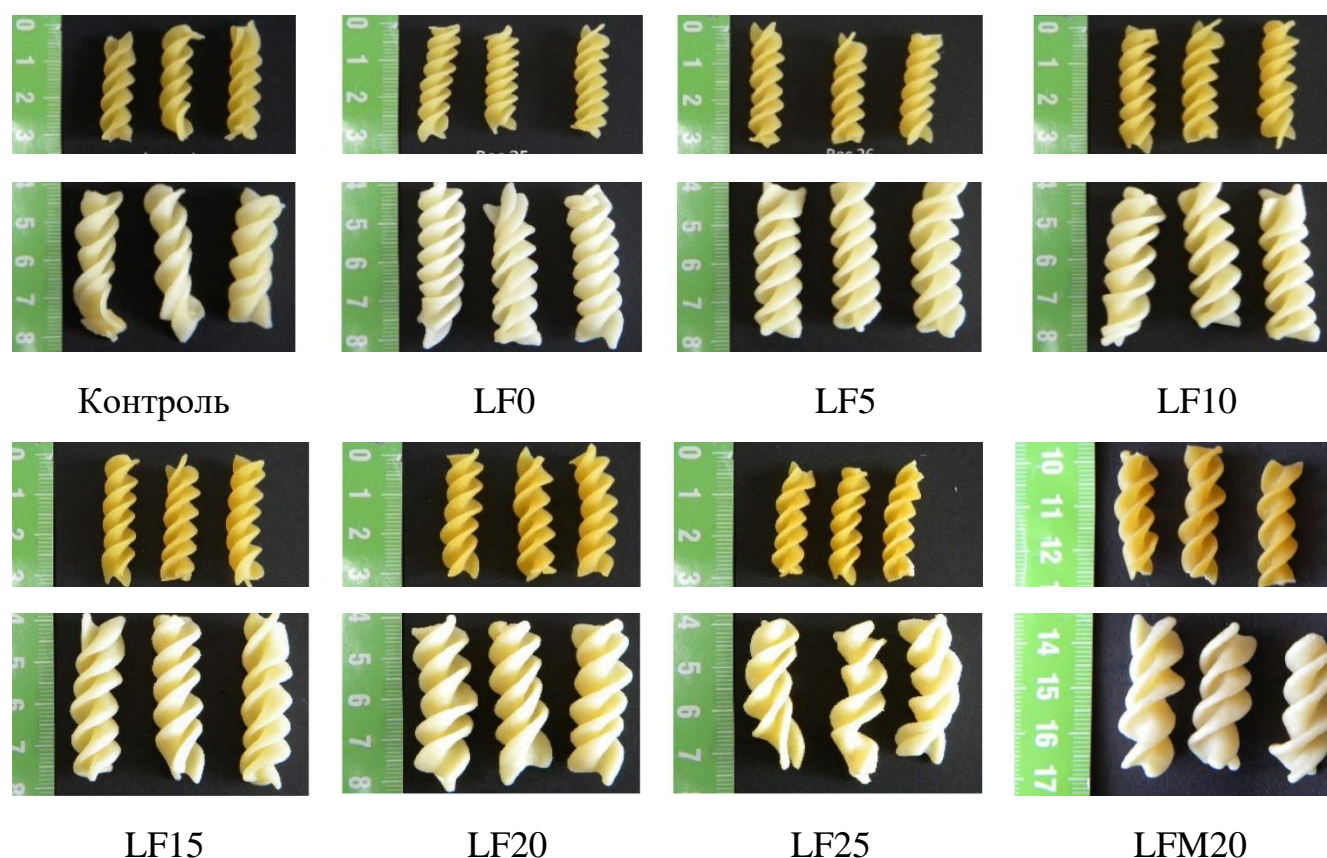


Рисунок 3.1 – Макаронні вироби до (вгорі) та після варіння (внизу) (LF – макарони з додаванням люпинового борошна; LFM – макарони з люпиновим і просовим борошном)

Раніше встановлено, що високоякісні макаронні вироби можна отримати при заміщенні манної крупи люпиновим борошном не більше ніж на 10%.

Додавання люпинового борошна у кількості до 25% не призвело до збільшення індексу об'єму макаронів, а різниця у показнику збільшення маси між більшістю досліджених зразків була статистично незначною ($p \leq 0,05$).

3.5 Реологічні властивості

Аналіз реологічних властивостей макаронних виробів показав (табл. 3.4), що додавання люпинового та просового борошна суттєво впливає на механічні характеристики як сухих, так і варених зразків. Для сухих макаронів найбільш істотним параметром є сила розлому, яка у контрольного зразка становила 15,2 Н, тоді як із збільшенням частки люпинового борошна від LF0 до LF25 сила розлому поступово зростала, досягаючи 19,3 Н. Найбільшу силу розлому показав зразок LFM20, що містив комбінацію люпинового та просового борошна (20,1 Н).

Таблиця 3.4 – Реологічні властивості сухих макаронних виробів при розламуванні

Зразок макаронів	Сила розлому (Н)	Відносна деформація при розломі (%)	Модуль пружності (МПа)	Індекс крихкості (а.о.)
Контроль	15,2 ± 0,8	3,5 ± 0,2	420 ± 18	0,28 ± 0,03
LF0	16,8 ± 0,9	3,8 ± 0,3	435 ± 20	0,30 ± 0,04
LF5	17,5 ± 1,0	3,9 ± 0,2	440 ± 15	0,31 ± 0,03
LF10	18,2 ± 1,1	4,0 ± 0,3	450 ± 17	0,33 ± 0,04
LF15	18,7 ± 0,9	4,1 ± 0,2	455 ± 18	0,34 ± 0,03
LF20	19,0 ± 1,0	4,2 ± 0,3	460 ± 20	0,35 ± 0,03
LF25	19,3 ± 1,2	4,3 ± 0,3	465 ± 21	0,36 ± 0,04
LFM20	20,1 ± 1,1	4,5 ± 0,2	470 ± 19	0,38 ± 0,03

LF – макарони з додаванням люпинового борошна; LFM – макарони з люпиновим і просовим борошном.

Це свідчить про те, що введення безглютенових і білкових компонентів підвищує механічну міцність сухих макарон. Відносна деформація при розломі у

сухих виробів також збільшувалася з підвищенням частки люпину та проса: контрольний зразок мав 3,5%, тоді як LF25 і LFM20 досягли 4,3–4,5%. Це означає, що макарони стають дещо більш еластичними перед розламом, зберігаючи при цьому крихкість. Модуль пружності сухих виробів зростав від 420 МПа у контролю до 470 МПа у LFM20, що підтверджує підвищену жорсткість структури при додаванні білкових і клітковинних компонентів. Індекс крихкості зростав від 0,28 до 0,38, що свідчить про більш крихку структуру зразків із високим вмістом люпину та проса. Отже, сухі макарони збагачені бобовими та просовим борошном відзначаються підвищеною механічною міцністю та одночасно дещо більшою еластичністю перед розламом, причому найміцнішими є зразки LFM20.

Після варіння макаронні вироби зазнають значних змін у реологічних властивостях (табл. 3.5). Сила розлому зменшується майже втричі: контрольний зразок після варіння мав 5,8 Н, тоді як LFM20 залишався найміцнішим із 7,8 Н. Проте загальна тенденція збереження більшої міцності при додаванні люпинового та просового борошна зберігається. Відносна деформація після варіння значно збільшується: у контрольного зразка вона становить 15%, у LFM20 – 19%. Це свідчить про підвищення пластичності та еластичності макарон після варіння, що робить їх більш придатними для жування. Модуль пружності зменшився до 80–100 МПа, а індекс крихкості знизився до 0,12–0,19, що означає пом'якшення структури та зменшення крихкості. Таким чином, варка значно знижує механічну жорсткість і крихкість макарон, одночасно підвищуючи їх еластичність і гнучкість.

Порівняння сухих і варених макарон демонструє, що додавання люпинового та просового борошна підвищує міцність виробів у будь-якому стані. Сухі макарони стають більш жорсткими і крихкими, тоді як варені макарони зберігають більшу міцність порівняно з контролем, але значно м'якші і більш пластичні. Найбільш виражений ефект спостерігається у зразків LFM20, які характеризуються високим вмістом білка і клітковини, що дозволяє підтримувати механічну міцність навіть після варіння. Отже, підвищення частки білкових і клітковинних компонентів у складі макаронних виробів дозволяє отримати продукцію з

оптимальними характеристиками міцності та еластичності як у сухому, так і у звареному стані.

Таблиця 3.5 – Реологічні властивості зварених макаронних виробів при розламуванні

Зразок макарон	Сила розлому (Н)	Відносна деформація при розломі (%)	Модуль пружності (МПа)	Індекс крихкості (а.о.)
Контроль	5,8 ± 0,3	15,2 ± 0,8	80 ± 5	0,12 ± 0,02
LF0	6,2 ± 0,4	16,0 ± 0,9	85 ± 6	0,13 ± 0,02
LF5	6,5 ± 0,4	16,5 ± 0,7	88 ± 5	0,14 ± 0,02
LF10	6,8 ± 0,5	17,0 ± 0,8	90 ± 6	0,15 ± 0,02
LF15	7,0 ± 0,4	17,5 ± 0,9	92 ± 5	0,16 ± 0,02
LF20	7,3 ± 0,5	18,0 ± 0,8	95 ± 6	0,17 ± 0,03
LF25	7,5 ± 0,6	18,5 ± 0,9	97 ± 6	0,18 ± 0,03
LFM20	7,8 ± 0,5	19,0 ± 0,8	100 ± 7	0,19 ± 0,03

LF – макарони з додаванням люпинового борошна; LFM – макарони з люпиновим і просовим борошном.

Висновки за розділом

1. Введення люпинового борошна, вівсяних β-глюканів, глютену та просового борошна значно підвищує тиск під час екструзії, що пояснюється зменшенням пластичності тіста та утворенням більш міцної білково-крохмальної матриці. Оптимізація складу макаронного тіста повинна враховувати не лише харчову цінність, а й реологічні властивості та стабільність екструзії. Підвищений вміст жиру сприяє полегшенню проходження тіста через фільтру і зниженню робочого тиску. Таким чином, баланс білкових і жирових компонентів є ключовим для технологічної якості макаронів.

2. Збагачення макаронних виробів люпиновим борошном суттєво підвищує вміст білка, харчових волокон, жиру та золи, водночас знижуючи концентрацію засвоюваних вуглеводів. Введення β-глюканів підвищує частку розчинної клітковини, а додавання пшеничного глютену стабілізує структуру білково-

крохмальної матриці. Найвищий вміст білка та харчових волокон спостерігається у зразках LFM20 і LF25. Таким чином, зміна складу макаронів дозволяє покращити їх функціональні властивості та знизити глікемічний індекс.

3. В'язкість макаронних виробів зростає пропорційно вмісту вівсяних β -глюканів, тоді як додавання люпинового борошна суттєво не впливає на цей показник. Зразки з високим вмістом β -глюканів (LFM20) мають найвищу в'язкість під час нагрівання та після охолодження. Підвищена в'язкість сприяє повільнішому засвоєнню вуглеводів, зменшенню глікемічного індексу і гіпохолестеринемічному ефекту. Таким чином, комбінація люпинового борошна та β -глюканів покращує функціональні властивості макаронів.

4. Зразки з 20–25% люпинового та просового борошна потребують більшого часу варіння (11,5–12 хв), що пов'язано з високою водопоглинальною здатністю клітковини. Втрати сухих речовин залишаються відносно низькими ($\leq 8\%$), проте зразок LF25 деформується після варіння. Індекс збільшення маси та об'єму варених макаронів майже не змінюється при додаванні бобових компонентів. Отже, оптимальне збагачення макаронів люпиновим борошном має не перевищувати 10–15% для збереження форми та технологічної якості.

6. Додавання люпинового та просового борошна підвищує механічну міцність сухих макаронів, збільшуючи силу розлому, модуль пружності та індекс крихкості. Після варіння макарони стають більш пластичними та еластичними, але зберігають більшу міцність порівняно з контролем. Зразки LFM20 демонструють найвищу стійкість до розлому та оптимальні еластичні властивості. Таким чином, комбінація білкових та клітковинних компонентів дозволяє отримати макарони з високою міцністю і функціональною придатністю у вареному стані.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Система охорони праці на макаронному виробництві спрямована на створення безпечних і здорових умов праці, попередження виробничого травматизму та професійних захворювань, а також на збереження навколишнього природного середовища. Згідно із Законом України «Про охорону праці» та Кодексом законів про працю, роботодавець зобов'язаний забезпечити функціонування системи управління охороною праці, що включає планування, організацію, контроль та вдосконалення заходів із безпеки виробничого процесу.

Макаронна фабрика належить до підприємств харчової промисловості, де технологічний процес пов'язаний із роботою механічного та теплового обладнання, використанням високих температур, підвищеної вологості та запиленості повітря. Основними шкідливими та небезпечними факторами є підвищена температура та вологість повітря в зоні пресів і сушарок, шум і вібрація від привідних механізмів, запилення повітря під час транспортування та змішування борошна, а також небезпека ураження електричним струмом при експлуатації електроустаткування.

З метою зниження впливу зазначених факторів на працівників, у виробничих приміщеннях передбачено систему загальнообмінної та місцевої вентиляції, яка забезпечує підтримання оптимальних параметрів мікроклімату відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99. Для зниження запиленості повітря у зонах подачі борошна встановлюються аспіраційні установки з фільтраційними елементами, що дозволяє зменшити концентрацію пилу до рівня, безпечного для здоров'я працівників. У місцях можливого скупчення пилу застосовується вологе прибирання, а подача борошна здійснюється по герметизованих трубопроводах.

Особлива увага приділяється безпеці при роботі з електричними установками. Усі машини, преси, насоси, конвеєри та сушильне обладнання мають надійне заземлення та захисні кожухи. Електрообладнання періодично проходить перевірку опору ізоляції, а пускові пристрої розташовуються таким чином, щоб забезпечити безпечне включення та вимкнення машин. Всі працівники проходять

первинний, повторний та позаплановий інструктажі з охорони праці, а також навчання правилам безпечної експлуатації обладнання.

При проектуванні макаронного цеху враховано ергономічні вимоги: робочі місця розташовуються на оптимальній висоті, проходи між машинами становлять не менше 1,5 м, підлоги мають неслизьке покриття та обладнані системою водовідведення. Освітлення виробничих приміщень відповідає нормам СНіП II-4-79 і забезпечує рівномірність світлового потоку без блиску. Для підтримання санітарно-гігієнічних умов передбачено побутові приміщення — гардеробні, душові, кімнати відпочинку, медпункт.

Шум, що виникає при роботі пресів, транспортних механізмів і вентиляторів, знижується за рахунок встановлення шумопоглинальних кожухів, глушників та гумових амортизаторів. Рівень шуму не перевищує граничнодопустимих значень, встановлених ДСН 3.3.6.037-99. Працівники, які обслуговують джерела підвищеного шуму, забезпечуються засобами індивідуального захисту органів слуху — протишумовими навушниками або берушами.

Під час роботи з гарячим повітрям у сушильних камерах можливі опіки, тому персонал забезпечується спеціальним термостійким одягом, рукавицями та взуттям із теплозахисними властивостями. Для запобігання травматизму на рухомих механізмах встановлюються огороження, блокувальні пристрої та сигнальні табло. Усі аварійні вимикачі фарбуються у червоний колір і розміщуються у зручних для доступу місцях.

На підприємстві діє система пожежної безпеки відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014. Основними джерелами пожежної небезпеки є пилоповітряні суміші, електрообладнання та сушильні установки. Для запобігання займанням проводиться регулярне очищення вентиляційних систем від пилу, а всі електричні мережі мають захисні автомати. У виробничих приміщеннях встановлені порошкові вогнегасники, пожежні крани та сигналізація з автоматичним оповіщенням. Працівники проходять інструктаж із пожежної безпеки та навчаються користуванню первинними засобами пожежогасіння.

Значна увага приділяється охороні навколишнього середовища. Відходи

макаронного виробництва поділяються на харчові, пакувальні та технічні. Харчові відходи (борошняний пил, обрізки тіста, некондиційні макарони) утилізуються або спрямовуються на кормові потреби. Папір, картон і полімерні пакувальні матеріали збираються роздільно та передаються на переробку відповідно до договорів із ліцензованими підприємствами.

Для зменшення впливу на атмосферне повітря застосовується аспіраційно-фільтраційна система, яка очищає викиди від пилу перед їх випуском у повітря. Рівень очищення становить не менше 95%, що відповідає вимогам ДСП 201-97. Стічні води після миття обладнання надходять у локальні очисні споруди, де проходять механічне та біологічне очищення перед скиданням у каналізаційну систему.

На підприємстві впроваджено систему екологічного менеджменту відповідно до стандарту ISO 14001, яка передбачає контроль за споживанням енергоресурсів, води, оптимізацію використання сировини, мінімізацію відходів і скорочення шкідливих викидів. Для економії енергії використовується рекуперація тепла від сушильних установок, а освітлення здійснюється світлодіодними лампами з автоматичним регулюванням.

Важливим напрямом є моніторинг умов праці. Проводиться періодичний лабораторний контроль мікроклімату, шуму, вібрації, запиленості, а також медичні огляди працівників. Результати контролю дозволяють своєчасно виявляти відхилення та вживати профілактичних заходів.

Таким чином, на макаронній фабриці реалізовано комплекс організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та екологічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці, попередження травматизму та забезпечення охорони довкілля. Дотримання норм охорони праці, регулярне навчання персоналу, модернізація вентиляційних і фільтраційних систем, раціональне використання ресурсів та утилізація відходів сприяють сталому розвитку підприємства, підвищенню ефективності виробництва і збереженню здоров'я працівників.

Таблиця 5.1 – Карта охорони праці на макаронній фабриці

№	Дільниця / етап виробництва	Потенційно небезпечні фактори	Можливі наслідки	Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	Організаційно-технічні заходи безпеки	Відповідальна особа
1	Приймання та зберігання сировини (борошна, добавок)	Пил, шум, рухомі механізми транспортерів, падіння вантажів	Захворювання органів дихання, травми, порізи, удари	Респіратори, захисні окуляри, навушники, спецвзуття	Регулярне очищення пилу, заземлення обладнання, навчання персоналу	Завідувач складом
2	Підготовка борошна та дозування	Пил, механічні пошкодження рук при роботі з мішками, рухомі частини змішувачів	Травмування кінцівок, подразнення слизових	Рукавички, пилозахисна маска, халат	Використання захисних кожухів, інструктаж з охорони праці	Майстер зміни
3	Замішування тіста	Оберткові частини мішалок, висока вологість, слизька підлога	Травми рук, ковзання, ураження струмом	Гумові рукавички, нековзне взуття	Огородження рухомих вузлів, перевірка ізоляції електроприладів	Начальник цеху
4	Формування макаронних виробів	Висока температура, рухомі частини пресів і шнеків, шум	Опіки, защемлення, перевтома слухового апарату	Теплостійкі рукавички, навушники, халат	Контроль температурного режиму, сигналізація аварійних станів	Оператор преса
5	Сушіння макаронів	Висока температура, гаряче повітря, обдування, можливість займання	Опіки, тепловий удар, пожежа	Халат з вогнестійкої тканини, рукавички	Вентиляція, контроль температури, наявність вогнегасників	Технолог цеху

№	Дільниця / етап виробництва	Потенційно небезпечні фактори	Можливі наслідки	Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	Організаційно-технічні заходи безпеки	Відповідальна особа
6	Пакування готової продукції	Пил, шум, ризик порізів при роботі з плівкою, травмування при роботі з автоматами	Порізи, опіки, удари	Рукавички, окуляри, халат	Періодичне технічне обслуговування пакувальних машин	Начальник пакувальної дільниці
7	Склад готової продукції	Рух транспорту (рокли, візки), підняття важких вантажів	Удари, розтягнення, падіння предметів	Спецвзуття, рукавиці	Обмеження швидкості транспорту, маркування проходів	Комірник
8	Котельня та парові установки	Високий тиск, температура, вибухонебезпека	Опіки, травми, ураження паром	Спецодяг, каска, терморукавиці	Регламентовані перевірки, сигналізація, інструктаж	Машиніст котельні
9	Адміністративно-побутові приміщення	Ковзання, електричні прилади, мікроклімат	Травми при падінні, ураження струмом	Звичайний одяг, взуття з нековзкою підошвою	Прибирання, заземлення приладів, освітлення	Завідувач господарством
10	Територія підприємства	Рух транспорту, слизьке покриття взимку, сміття	Травми, падіння, ДТП	Спецвзуття, сигнальний жилет	Освітлення території, прибирання, попереджувальні знаки	Відповідальний за охорону праці

Висновки за розділом

На макаронній фабриці впроваджено систему охорони праці, спрямовану на забезпечення безпечних умов праці, запобігання травматизму та охорону довкілля. Основні заходи включають вентиляцію та аспірацію для зниження запиленості, заземлення і захисні кожухи обладнання, контроль температури, рівня шуму та мікроклімату. Працівники проходять інструктажі з безпеки та забезпечуються засобами індивідуального захисту. Система пожежної безпеки передбачає наявність сигналізації, вогнегасників і регулярне технічне обслуговування обладнання. Для охорони навколишнього середовища застосовуються фільтраційні установки, локальні очисні споруди та роздільний збір відходів. Завдяки комплексному підходу забезпечено стабільну роботу виробництва, безпечні умови праці й мінімальний вплив на довкілля.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Нижче наведено розгорнутий економічний розрахунок собівартості 100 г борошняної частини (основної сировини) для кожного з модельних зразків макаронних виробів, наведених у таблиці 2.1 (контроль, LF0, LF5, LF10, LF15, LF20, LF25, LFM20). Для прозорості розрахунку спочатку перелічено використані вихідні припущення щодо цін на сировину, після чого наведено результати та їх інтерпретацію.

Для обчислення собівартості прийнято, що у кожному зразку береться 100 г суміші «борошняної» частини згідно з відсотковими співвідношеннями в моделі експерименту (сусідні технологічні добавки, вода й інші допоміжні компоненти у цьому розрахунку не враховуються). У якості ринкових цін (умовні середні ціни, грн/кг) прийнято такі значення: тверда пшенична крупа (семоліна) – 30,00 грн/кг; люпинове борошно – 160,00 грн/кг; вівсяні β-глюкани – 200,00 грн/кг; вітальний пшеничний глютен – 120,00 грн/кг; пшоняне (просове) борошно – 60,00 грн/кг. Ціни вибрані як орієнтовні для оцінки впливу рецептури на собівартість; у реальному проєкті їх слід замінити на актуальні закупівельні ціни підприємства.

Для кожного зразка визначали сумарну вартість компонентів (грн) на 100 г борошняної суміші як суму добутків маси компоненту в грамах на його ціну в грн/г (ціна в грн/кг поділена на 1000). Результат також масштабовано до 1 кг (помножено на 10) для зручності порівняння із звичайними показниками собівартості на одиницю маси.

Результати розрахунку (вартість борошняної частини):

- Контроль (100 % семоліна) – 3,00 грн на 100 г (\approx 30,00 грн/кг).
- LF0 (87,6 % семоліна, 7,4 % β-глюканів, 5 % глютен) – 4,708 грн на 100 г (\approx 47,08 грн/кг).
- LF5 (82,6 % семоліна, 5 % люпин, 7,4 % β-глюканів, 5 % глютен) – 5,358 грн на 100 г (\approx 53,58 грн/кг).
- LF10 (77,6 % семоліна, 10 % люпин, 7,4 % β-глюканів, 5 % глютен) – 6,008 грн на 100 г (\approx 60,08 грн/кг).

– LF15 (72,6 % семоліна, 15 % люпин, 7,4 % β -глюканів, 5 % глютен) – 6,658 грн на 100 г (\approx 66,58 грн/кг).

– LF20 (67,6 % семоліна, 20 % люпин, 7,4 % β -глюканів, 5 % глютен) – 7,308 грн на 100 г (\approx 73,08 грн/кг).

– LF25 (62,6 % семоліна, 25 % люпин, 7,4 % β -глюканів, 5 % глютен) – 7,958 грн на 100 г (\approx 79,58 грн/кг).

– LFM20 (35,1 % семоліна, 20 % люпин, 19,9 % β -глюканів, 5 % глютен, 20 % просове борошно) – 10,033 грн на 100 г (\approx 100,33 грн/кг).

Відмітна особливість розроблених зразків – зростання собівартості борошняної частини при наростаючому вмісті люпинового борошна і β -глюканів. Відносно контрольного зразка підвищення собівартості на 1 кг виглядає так: LF0 +17,08 грн (\approx +56,9 %), LF5 +23,58 грн (+78,6 %), LF10 +30,08 грн (+100,3 %), LF15 +36,58 грн (+121,9 %), LF20 +43,08 грн (+143,6 %), LF25 +49,58 грн (+165,3 %), LFM20 +70,33 грн (+234,4 %). Найбільший стрибок припадає на комбінований зразок LFM20 через одночасне введення великої частки β -глюканів і просового борошна поряд із люпином.

Причини зростання собівартості. Основний фактор – висока ціна альтернативних компонентів, насамперед люпинового борошна і β -глюканів, які значно дорожчі за семоліну. У зразку LFM20 додатково впливає і ціна просового борошна, а також великий відсоток β -глюканів (19,9 %), що обумовлює найвищу собівартість. Таким чином, навіть при відносно невеликому заміщенні семоліни (наприклад, 5–10 %) собівартість зростає помітно.

Повна собівартість макаронних виробів формується не лише з вартості основної сировини, а й включає витрати на енергоносії, заробітну плату з нарахуваннями та амортизацію обладнання.

Енергоносії (умовні середні норми на 1 кг продукції):

- Електроенергія: $1,2 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{кг} \times 5,5 \text{ грн}/\text{кВт}\cdot\text{год} = 6,60 \text{ грн}/\text{кг}$
- Теплова енергія (газ або пар): $0,8 \text{ м}^3 \text{ умов.}/\text{кг} \times 12,0 \text{ грн}/\text{м}^3 = 9,60 \text{ грн}/\text{кг}$
- Разом енергоносії = 16,20 грн/кг

– (Норми енергоспоживання умовні – залежать від обладнання та режиму сушіння; при потребі їх слід уточнити.)

Заробітна плата та внески (на 1 кг продукції):

– Норма часу на операційні роботи (приготування, екструзія, сушіння, фасування та обслуговування) – 0,03 люд.-год/кг (умовно).

– Середня тарифна ставка (брутто) оператора – 120 грн/год.

– Прямі оплатні витрати = $0,03 \times 120 = 3,60$ грн/кг.

– Нарахування (ЄСВ та інші обов'язкові платежі) –30% $\rightarrow 3,60 \times 0,30 = 1,08$ грн/кг.

– Разом трудові витрати з нарахуваннями = 4,68 грн/кг.

Амортизація (виробниче обладнання, капітальні витрати):

– Умовна амортизація на 1 кг = 5,00 грн/кг (включає амортизацію екструдера, сушарок, дозуючих і пакувальних машин).

Інші виробничі витрати (тимчасово не враховані): упаковка, складські, логістика, адміністрація, податки, втрати сировини, контроль якості тощо – у цьому розрахунку не враховані.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків (для 1 кг продукції)

Зразок	Сировина (грн/кг)	Додатково: енергія+зарплата+амортизація (грн/кг)	Повна собівартість (грн/кг)
Контроль	30	25,88	55,88
LF0	47,08	25,88	72,96
LF5	53,58	25,88	79,46
LF10	60,08	25,88	85,96
LF15	66,58	25,88	92,46
LF20	73,08	25,88	98,96
LF25	79,58	25,88	105,46
LFM20	100,33	25,88	126,21

Повна собівартість 1 кг = Сировина (борошняна частина) + Енергоносії + Зарплата з нарахуваннями + Амортизація, де енергоносії = 16,20 грн/кг; зарплата з нарахуваннями = 4,68 грн/кг; амортизація = 5,00 грн/кг.

Сума додаткових витрат (енергія + зарплата + амортизація) = 25,88 грн/кг.

Аналіз результатів:

1. Вплив рецептури на собівартість – найзначніший внесок у підвищення повної собівартості дає дорожча сировина (люпинове борошно та β -глюкани). Додаткові постійні статті (енергія, зарплата, амортизація) підвищують собівартість на ~25,9 грн/кг для всіх варіантів однаково, тобто «фіксована надбавка», але відносно подорожчання найпомітніше у зразків з високою вартістю борошняної частини (зростання у % щодо CON найбільше для LFM20).

2. Рентабельність і ціноутворення – для виходу на бажану маржу потрібно встановити роздрібну/оптову ціну з урахуванням прогнозованої торговельної надбавки та логістики. Наприклад, якщо цільова маржа 30% від продажної ціни, роздрібна ціна буде істотно вищою за наведену собівартість.

3. Чутливість – собівартість дуже чутлива до ціни ключових інгредієнтів (люпин, β -глюкани). Навіть незначне зниження їх закупівельної ціни або зменшення частки у рецептурі дасть вагомий зиск у собівартості.

4. Можливі шляхи оптимізації:

- пошук дешевших постачальників або оптові контракти на люпин та β -глюкани;
- часткова локалізація поставок (вітчизняні проти імпортних компонентів);
- оптимізація енергоспоживання сушарок (енергозберігаючі режими, рекуперація тепла – це може зменшити ~30–50% теплових витрат);
- оптимізація трудових норм або автоматизація окремих операцій (скорочує трудові витрати на 1 кг);
- зниження амортизації на 1 кг шляхом збільшення обсягів виробництва (розподіл капітальних витрат на більший обсяг).

Примітки і рекомендації:

- Наведені значення енергоспоживання, трудомісткості та амортизації є умовними орієнтирами. Для точного фінального розрахунку потрібно підставити реальні показники вашого підприємства (фактичні закупівельні ціни, фактичне

енергоспоживання сушіння при вашому обладнанні, реальні тарифи на газ/електроенергію, середні заробітні плати і точну амортизаційну базу та річний обсяг).

Висновки за розділом

Проведено економічний розрахунок повної собівартості одного кілограма макаронних виробів для модельних зразків контроль, LF0, LF5, LF10, LF15, LF20, LF25 та LFM20 із врахуванням вартості борошняної частини, енергоносіїв, заробітної плати з нарахуваннями та амортизації обладнання. Найбільш суттєвий вплив на собівартість має сировина: борошняна частина контрольного зразка (100 % семоліна) коштує 30 грн/кг, тоді як у зразках із додаванням люпинового борошна та β -глюканів вартість зростає від 47,08 грн/кг у LF0 до 100,33 грн/кг у LFM20. Додаткові витрати на енергоносії, зарплату та амортизацію становлять 25,88 грн/кг для всіх зразків, тому повна собівартість коливається від 55,88 грн/кг для контролю до 126,21 грн/кг для LFM20. Найбільше зростання собівартості обумовлене високою ціною альтернативних компонентів, особливо люпинового борошна, β -глюканів і просового борошна, що робить LFM20 найдорожчим. Оптимізація собівартості можлива через зменшення частки дорогих інгредієнтів, пошук дешевших постачальників, підвищення енергоефективності сушіння, автоматизацію виробничих операцій та розподіл амортизаційних витрат на більший обсяг продукції. Таким чином, розрахунок показує чітку тенденцію: із збільшенням вмісту дорогих функціональних добавок собівартість макаронних виробів зростає суттєво, а контроль за витратами на енергію, зарплату та амортизацію дозволяє підтримувати стабільну «фіксовану надбавку» у 25,88 грн/кг для всіх варіантів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Макарони є важливим і зручним продуктом харчування, популярним завдяки простоті рецептури, технологічності виробництва та тривалому зберіганню. Сучасні інновації включають збагачення бобовими, овочевими та цільнозерновими компонентами, що покращує харчовий профіль без погіршення якості. Виробничий процес – від замісу та формування до сушіння – критично впливає на текстуру, міцність і сенсорні властивості. Люпинове борошно є перспективним інгредієнтом, який підвищує вміст білка та харчових волокон, знижує глікемічний індекс і зберігає біологічну цінність продукту.

2. В результаті дослідження впливу технологічних властивостей та тиск при екструзії встановлено, що введення 20–25 % люпинового та просового борошна підвищує робочий тиск під час екструзії до максимальної величини в зразках LFM20 і LF25, тоді як додавання жиру зменшує тиск. Баланс білкових і жирних компонентів критично важливий для стабільності виробництва.

3. В результаті дослідження харчових та функціональних показників встановлено, що збагачення люпином і β -глюканами підвищує вміст білка до 17–20 % і харчових волокон до 8–10 % у зразках LFM20 і LF25, одночасно знижуючи засвоювані вуглеводи. Це дозволяє знизити глікемічний індекс та покращити функціональні властивості макаронів.

4. В результаті дослідження механічні та кулінарні властивості встановлено, що зразки з 20–25 % люпину та просового борошна потребують більшого часу варіння (11,5–12 хв), втрати сухих речовин $\leq 8\%$, індекс збільшення маси та об'єму практично не змінюється. Механічна міцність сухих макаронів зростає, а після варіння зразки LFM20 демонструють оптимальні еластичність і стійкість до розлому.

5. На макаронній фабриці впроваджено систему охорони праці, спрямовану на забезпечення безпечних умов праці, запобігання травматизму та охорону довкілля. Основні заходи включають вентиляцію та аспірацію для зниження запиленості, заземлення і захисні кожухи обладнання, контроль температури, рівня шуму та мікроклімату. Працівники проходять інструктажі з безпеки та забезпечуються засобами

індивідуального захисту. Система пожежної безпеки передбачає наявність сигналізації, вогнегасників і регулярне технічне обслуговування обладнання. Для охорони навколишнього середовища застосовуються фільтраційні установки, локальні очисні споруди та роздільний збір відходів. Завдяки комплексному підходу забезпечено стабільну роботу виробництва, безпечні умови праці й мінімальний вплив на довкілля.

б. Проведено розрахунок повної собівартості 1 кг макаронних виробів з урахуванням борошняної частини, енергоносіїв, зарплати та амортизації. Сировина найсуттєвіше впливає на собівартість: від 30 грн/кг у контрольного зразка до 100,33 грн/кг у LFM20. Додаткові витрати складають 25,88 грн/кг, тож повна собівартість коливається від 55,88 до 126,21 грн/кг. Найдорожчий LFM20 через високу ціну люпину, β -глюканів і просового борошна. Зниження собівартості можливе через зменшення частки дорогих інгредієнтів, пошук дешевших постачальників, підвищення енергоефективності та автоматизацію виробництва.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Giacco R., Vitale M., Riccardi G. Pasta: Role in diet. In: Caballero B., Finglas P., Toldrá F., editors. *The Encyclopedia of Food and Health*. Amsterdam: Elsevier Ltd.; 2016. p. 242–245.
2. IPO. *The World Pasta Industry Status Report*—International Pasta Organization. 2014. Available from: [<http://www.internationalpasta.org>]
3. Decreto del Presidente della Repubblica n.146. Regolamento per la revisione della normativa sulla produzione e commercializzazione di sfarinati e paste alimentari, a norma dell'articolo 50 della legge 22 febbraio 1994. *Gazz. Uff.* 2001;117:6–12.
4. Sissons M. Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food*. 2008;2:75–90.
5. Padalino L., Mastromatteo M., Lecce L., Spinelli S., Contò F., Del Nobile M.A. Effect of durum wheat cultivars on physico-chemical and sensory properties of spaghetti. *J Sci Food Agric*. 2014;94:2196–2204.
6. Hong E., Lee S.Y., Jeong J.Y., Park J.M., Kim B.H., Kwon K., Chun H.S. Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category. *J Sci Food Agric*. 2017;97:3877–3896.
7. Giannetti V., Mariani M.B., Marini F., Biancolillo A. Effects of thermal treatments on durum wheat pasta flavour during production process: A modelling approach to provide added-value to pasta dried at low temperatures. *Talanta*. 2021;225:121955.
8. Dello Russo M., Spagnuolo C., Moccia S., Angelino D., Pellegrini N., Martini D. Nutritional Quality of Pasta Sold on the Italian Market: The Food Labelling of Italian Products (FLIP) Study. *Nutrients*. 2021;13:171.
9. Angelino D., Martina A., Rosi A., Veronesi L., Antonini M., Mennella I., Vitaglione P., Grioni S., Brighenti F., Zavaroni I., et al. Glucose- and lipid-related biomarkers are affected in healthy obese or hyperglycemic adults consuming a whole-grain pasta enriched in prebiotics and probiotics: A 12-week randomized controlled trial. *J Nutr*. 2019;149:1714–1723.

10. Ciccoritti R., Taddei F., Nicoletti I., Gazza L., Corradini D., D'Egidio M.G., Martini D. Use of bran fractions and debranned kernels for the development of pasta with high nutritional and healthy potential. *Food Chem.* 2017;225:77–86.
11. Oliviero T., Fogliano V. Food design strategies to increase vegetable intake: The case of vegetable enriched pasta. *Trends Food Sci Technol.* 2016;51:58–64.
12. Di Monaco R., Cavella S., Di Marzo S., Masi P. The effect of expectations generated by brand name on the acceptability of dried semolina pasta. *Food Qual Prefer.* 2004;15:429–437.
13. Laureati M., Conte A., Padalino L., Del Nobile M.A., Pagliarini E. Effect of fiber information on consumer's expectation and liking of wheat bran enriched pasta. *J Sens Stud.* 2016;31:348–359.
14. Pagani M.A., Lucisano M., Mariotti M. Traditional Italian products from wheat and other starchy flours. In: Hui Y.H., editor. *Handbook of Food Products Manufacturing.* Hoboken: John Wiley Ltd.; 2007. p. 327–388.
15. Chiavaroli L., Kendall C.W., Braunstein C.R., Mejia S.B., Leiter L.A., Jenkins D.J., Sievenpiper J.L. Effect of pasta in the context of low-glycaemic index dietary patterns on body weight and markers of adiposity: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials in adults. *BMJ Open.* 2018;8:e019438.
16. Granfeldt Y., Björck I. Glycemic response to starch in pasta: A study of mechanisms of limited enzyme availability. *J Cereal Sci.* 1991;14:47–61.
17. Petitot M., Abecassis J., Micard V. Structuring of pasta components during processing: Impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Trends Food Sci Technol.* 2009;20:521–532.
18. Melini V., Melini F., Acquistucci R. Phenolic compounds and bioaccessibility thereof in functional pasta. *Antioxidants.* 2020;9:343.
19. Wahanik A.L., Chang Y.K., Clerici M.T.P.S. How to make pastas healthier? *Food Rev Int.* 2018;34:52–69.
20. Mercier S., Moresoli C., Mondor M., Villeneuve S., Marcos B. A meta-analysis of enriched pasta: What are the effects of enrichment and process specifications on the quality attributes of pasta? *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2016;15:685–704.

21. Li M., Zhu K.X., Guo X.N., Brijs K., Zhou H.M. Natural additives in wheat-based pasta and noodle products: Opportunities for enhanced nutritional and functional properties. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2014;13:347–357.
22. Krishnan M., Prabhasankar P. Health based pasta: Redefining the concept of the next generation convenience food. *Crit Rev Food Sci.* 2012;52:9–20.
23. Fuad T., Prabhasankar P. Role of ingredients in pasta product quality: A review on recent developments. *Crit Rev Food Sci.* 2010;50:787–798.
24. Marti A., Cattaneo S., Benedetti S., Buratti S., Abbasi Parizad P., Masotti F., Iametti S., Pagani M.A. Characterization of whole grain pasta: Integrating physical, chemical, molecular, and instrumental sensory approaches. *J Food Sci.* 2017;82:2583–2590.
25. Cecchini C., Menesatti P., Antonucci F., Costa C. Trends in research on durum wheat and pasta, a bibliometric mapping approach. *Cereal Chem.* 2020;97:581–588.
26. Bresciani A., Giordano D., Vanara F., Blandino M., Marti A. High-amylose corn in gluten-free pasta: Strategies to deliver nutritional benefits ensuring the overall quality. *Food Chem.* 2021;353:129489.
27. Marti A., Pagani M.A. What can play the role of gluten in gluten free pasta? *Trends Food Sci Technol.* 2013;31:63–71.
28. Marti A., Caramanico R., Bottega G., Pagani M.A. Cooking behavior of rice pasta: Effect of thermal treatments and extrusion conditions. *LWT—Food Sci Technol.* 2013;54:229–235.
29. Cabrera-Chávez F., de la Barca A.M.C., Islas-Rubio A.R., Marti A., Marengo M., Pagani M.A., Bonomi F., Iametti S. Molecular rearrangements in extrusion processes for the production of amaranth-enriched, gluten-free rice pasta. *LWT—Food Sci Technol.* 2012;47:421–426.
30. De Noni I., Pagani M.A. Cooking properties and heat damage of dried pasta as influenced by raw material characteristics and processing conditions. *Crit Rev Food Sci.* 2010;50:465–472.
31. Sicignano A., Di Monaco R., Masi P., Cavella S. From raw material to dish: Pasta quality step by step. *J Sci Food Agric.* 2015;95:2579–2587.

32. Murray J.C., Kiszonas A.M., Morris C.F. Pasta production: Complexity in defining processing conditions for reference trials and quality assessment methods. *Cereal Chem.* 2017;94:791–797.
33. Marti A., D'Egidio M.A., Pagani M.A. Pasta: Quality testing methods. In: Wrigley C.W., Cork H., Seetharaman K., Faubion J., editors. *Encyclopedia of Food Grains*. Waltham: Academic Press; 2015. p. 161–165.
34. Deng L., Manthey F.A. Effect of single-pass and multipass milling systems on whole wheat durum flour and whole wheat pasta quality. *Cereal Chem.* 2017;94:963–969.
35. Debbouz A., Doetkott C. Effect of process variables on spaghetti quality. *Cereal Chem.* 1996;73:672–676.
36. De la Peña E., Manthey F.A. Effect of formulation and dough hydration level on extrusion, physical and cooked qualities of nontraditional spaghetti. *J Food Process Eng.* 2017;40:e12301.
37. De la Peña E., Manthey F.A., Patel B.K., Campanella O.H. Rheological properties of pasta dough during pasta extrusion: Effect of moisture and dough formulation. *J Cereal Sci.* 2014;60:346–351.
38. Manthey F.A., Schorno A.L. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum. *Cereal Chem.* 2002;79:504–510.
39. Yalla S.R., Manthey F.A. Effect of semolina and absorption level on extrusion of spaghetti containing non-traditional ingredients. *J Sci Food Agric.* 2006;86:841–848.
40. La Gatta B., Rutigliano M., Padalino L., Conte A., Del Nobile M.A., Di Luccia A. The role of hydration on the cooking quality of bran-enriched pasta. *LWT—Food Sci Technol.* 2017;84:489–496.