

**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 вмісту конопляної добавки у
мафінах**

Виконав: здобувачка вищої освіти 2 курсу,
групи МГХТ-1-23
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Тетяна ДМИТРИК

Керівник: _____ Наталія СОВА

Рецензент: _____ Євген ДІДОВИЧ

Дніпро 2024

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
«__» _____ 2024 р.

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

Дмитрик Тетяні Сергіївні

1. Тема роботи: «Обґрунтування вмісту конопляної добавки в мафінах». Керівник роботи: Сова Наталія Анатоліївна, кандидатка технічних наук, доцентка, затверджені наказом закладу вищої освіти від «11» листопада 2024 року №3768.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 16 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані до роботи: 1. Літературні джерела та періодичні видання. 2. Наукова та науково-технічна документація, що стосується виробництва борошняних кондитерських виробів, у тому числі мафінів.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1. Огляд літературних джерел. 2. Характеристика сировини та методологія експериментальних досліджень. 3. Експериментальна частина. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Організаційно-економічна частина. Загальні висновки та пропозиції. Бібліографія. Додатки.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

- 1) Мета, об'єкт та предмет досліджень.
- 2) Основні задачі кваліфікаційної роботи.
- 3) Зовнішній вигляд дослідних зразків мафінів.
- 4) Органолептичні показники якості дослідних зразків мафінів.
- 5) Дослідження реологічних властивостей зразків мафінів.
- 6) Карта безпеки праці
- 7) Кошторис витрат на проведення досліджень.
- 8) Загальні висновки та пропозиції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 5	доцентка СОВА Наталія	11.11.2024	16.12.2024

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	11.11-13.11.2024	виконано
2	Огляд літературних джерел	14.11-21.11.2024	виконано
3	Характеристика сировини та методологія експериментальних досліджень	22.11-26.11.2024	виконано
4	Експериментальна частина	27.11-05.12.2024	виконано
5	Охорона праці та захист навколишнього середовища	06.12-07.12.2024	виконано
6	Організаційно-економічна частина	08.12-09.12.2024	виконано
7	Загальні висновки та пропозиції, бібліографія	10.12-11.12.2024	виконано
8	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	12.12-16.12.2024	виконано

Здобувачка вищої освіти _____ Тетяна ДМИТРИК
(підпис)

Керівник роботи _____ Наталія СОВА

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи містить: 68 сторінок друкованого тексту, 11 рисунків, 21 таблиця та використано 61 літературне джерело.

Мета дослідження – оцінка впливу різних факторів, таких як додавання конопляного протеїну та умов зберігання, на реологічні, текстурні та органолептичні властивості мафінів, а також визначення оптимальних умов для збереження їх якості та безпечності.

Об'єкт дослідження: мафіни, виготовлені з різним вмістом конопляного протеїну та за різних умов зберігання.

Предмет дослідження: зміни реологічних, текстурних та органолептичних властивостей мафінів залежно від концентрації конопляного протеїну та умов їх зберігання, а також оцінка впливу упаковки на збереження якості продукту.

Так як борошняні кондитерські вироби, у тому числі мафіни, бідні за складом, а особливо за вмістом нутрієнтів, на сьогоднішній день багато науковців у сфері харчових технологій, зокрема кондитерської галузі, працюють над збагаченням даного виду продуктів. Для збагачення використовують різні добавки рослинного та тваринного походження, у тому числі борошно нішевих культур, таке як нутове, амарантове, гарбузове, лляне, конопляне, соргове тощо.

Але не завжди додавання різних корисних добавок позитивно впливає на кінцевий продукт. В основному вчені досліджують вплив додавання різних добавок, які володіють високим вмістом нутрієнтів, на органолептичні та фізико-хімічні показники якості борошняних кондитерських виробів, а от реологічним та текстурним властивостям приділяють дуже мало уваги.

Конопляне борошно на сьогоднішній день активно використовують і науковці і оператори ринку для збагачення кексів, печива, макаронних виробів, хлібобулочних виробів тощо, але слід зазначити, що воно має значний вміст оболонок у своєму складі, що часто погіршує споживчі якості кінцевого продукту. Трапляються споживачі, яким це до вподоби, але їх меншість. Якщо порівняти конопляний протеїн із борошном, то протеїн має менший розмір частинок, в ньому менше можна зустріти оболонку і він має дещо більший вміст білка. Тому ми вирішили у наших дослідженнях як збагачувач мафінів використати саме конопляний протеїн, а не борошно.

У роботі досліджено органолептичні показники якості мафінів із заміною у рецептурі 12,5 %, 25 % та 37,5 % борошна пшеничного на конопляний протеїн. Визначено вплив даної добавки на реологічні та текстурні властивості готових виробів. Досліджено зміни в текстурі та еластичності мафінів під час зберігання з пакуванням і без пакування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БОРОШНЯНІ КОНДИТЕРСЬКІ ВИРОБИ, МАФІНИ, КОНОПЛЯНИЙ ПРОТЕЇН, РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ТЕКСТУРА.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	7
1.1 Характеристика промислових конопель	7
1.2 Характеристика складу насіння промислових конопель.....	8
1.3 Характеристика конопляного борошна та білкових концентратів.....	13
Висновки за розділом	18
2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	19
2.1 Сировина, використана в дослідженні	19
2.2 Планування досліджень	20
2.3 Методика аналізу зразків	21
2.3.1 Аналіз органолептичних властивостей	21
2.3.2 Аналіз текстурних характеристик мафінів	23
2.3.3 Методика досліджень зміни властивостей мафінів під час зберігання... ..	28
2.4 Методика статистичного аналізу	30
Висновки за розділом	34
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	35
3.1 Органолептичні властивості мафінів.....	35
3.2 Реологічні властивості мафінів	38
3.3 Зміна властивостей мафінів під час зберігання.....	42
Висновки за розділом	48
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	50
Висновки за розділом.....	52
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	53
Висновки за розділом.....	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	58
БІБЛІОГРАФІЯ.....	60

ВСТУП

Так як борошняні кондитерські вироби, у тому числі мафіни, бідні за складом, а особливо за вмістом нутрієнтів, на сьогоднішній день багато науковців у сфері харчових технологій, зокрема кондитерської галузі, працюють над збагаченням даного виду продуктів. Для збагачення використовують різні добавки рослинного та тваринного походження, у тому числі борошно нішевих культур, таке як нутове, амарантове, гарбузове, лляне, конопляне, соргове тощо.

Але не завжди додавання різних корисних добавок позитивно впливає на кінцевий продукт. В основному вчені досліджують вплив додавання різних добавок, які володіють високим вмістом нутрієнтів, на органолептичні та фізико-хімічні показники якості борошняних кондитерських виробів, а от реологічним та текстурним властивостям приділяють дуже мало уваги.

Конопляне борошно на сьогоднішній день активно використовують і науковці і оператори ринку для збагачення кексів, печива, макаронних виробів, хлібобулочних виробів тощо, але слід зазначити, що воно має значний вміст оболонки у своєму складі, що часто погіршує споживчі якості кінцевого продукту. Трапляються споживачі, яким це до вподоби, але їх меншість. Якщо порівняти конопляний протеїн із борошном, то протеїн має менший розмір частинок, в ньому менше можна зустріти оболонку і він має дещо більший вміст білка. Тому ми вирішили у наших дослідженнях як збагачувач мафінів використати саме конопляний протеїн, а не борошно.

Метою наших досліджень ми визначили оцінку впливу різних факторів, таких як додавання конопляного протеїну та умов зберігання, на реологічні, текстурні та органолептичні властивості мафінів, а також визначення оптимальних умов для збереження їх якості та безпечності.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз впливу конопляного протеїну на реологічні та текстурні властивості мафінів;
2. Оцінити органолептичні характеристики мафінів при різних концентраціях

конопляного протеїну;

3. Дослідити зміни в текстурі та еластичності мафінів під час зберігання з пакуванням і без пакування;

4. Оцінити ефективність використання поліетиленової упаковки для збереження властивостей мафінів під час зберігання;

5. Провести оцінку заходів охорони праці при виготовленні мафінів;

6. Оцінити економічні аспекти використання конопляного протеїну в технології виробництва мафінів.

Об'єкт дослідження: мафіни, виготовлені з різним вмістом конопляного протеїну та за різних умов зберігання.

Предмет дослідження: зміни реологічних, текстурних та органолептичних властивостей мафінів залежно від концентрації конопляного протеїну та умов їх зберігання, а також оцінка впливу упаковки на збереження якості продукту.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Характеристика промислових конопель

Коноплі вирощували протягом тисячі років як волокно, зерно та лікарські рослини. Однак суворий контроль вирощування канабісу для незаконного використання, розповсюдження інших ниток і олійного насіння, а також поява дешевого синтетичного волокна призвели до зниження і навіть викорінення виробництва конопель. Коноплі були заборонені у більшості країн світу більш ніж сім десятиліть, вони пропустили Зелену революцію і прийняття нових технологій та сортів [1].

Наприкінці 60-х років минулого століття українські вчені-селекціонери почали працювати над створенням сортів конопель з мінімізованим вмістом тетрагідроканабінолу, який є психотропною речовиною. Перші сорти (ЮСО-14, ЮСО-16), що не викликали наркотичного збудження, були виведені в Інституті луб'яних культур Національної академії аграрних наук України у 1980 році. У цих сортах конопель вміст тетрагідроканабінолу не перевищував 0,2 %. Знаковим в коноплярстві став 2011 рік, коли науковці Інституту луб'яних культур Національної академії аграрних наук України вивели перший в світі сорт конопель Вікторія, у якому тетрагідроканабінол був відсутній [2]. Такі коноплі почали називати ненаркотичними, а трохи згодом технічними або промисловими відповідно до напрямку переробки. З того моменту конопляна галузь, яка була раніше заборонена в більшості країн Європи через розквіт наркоманії, почала розвиватися стрімкими темпами.

За останні роки площі, відведені для вирощування конопель, в ЄС збільшились на 60 %. За цей же період виробництво конопель збільшилося на 84,3 %. Франція є найбільшим виробником конопель в ЄС – більше 60 % виробництва, за нею слідують Німеччина – 17 % та Нідерланди – 5 % [3].

Швидке зростання промислових конопель і їх використання для виробництва різних товарів цікаві багатьом вченим та виробникам. Коноплі використовують для

виробництва різних товарів, у тому числі текстилю (тканин, пряжі, килимів, полотна, мотузок тощо), паперу, ліків, харчових продуктів, кормів та підстилки для тварин, фарб, біопалива, біорозкладного пластику, біокомпозитів та будівельних матеріалів. Швидке виробництво біомаси та здатність рости в різних умовах роблять коноплі гарним кандидатом для рекультивації забруднених земель [1, 4].

Волокно конопель відрізняється від інших своїми асептичними властивостями, високою поглинаючою здатністю, захистом від ультрафіолетового випромінювання та відсутністю алергічного ефекту. За результатами дослідження [5] коноплі є перспективною альтернативою бавовні і вирощування конопель знизить витрати на сільськогосподарську діяльність на 77,63 % порівняно з бавовною.

1.2 Характеристика складу насіння промислових конопель

Насіння конопель спочатку вважали побічним продуктом промисловості із виробництва технічного волокна [6]. Його почали використовувати близько 3000 років тому, коли воно було основним джерелом їжі для населення регіону, який нині є Китаєм та Непалом [1]. Насіння конопель має цінний склад, на який можуть впливати різні чинники, у тому числі сортові особливості та регіон вирощування [7, 8]. Воно містить 25–35 % олії зі збалансованим складом жирних кислот, 20–25% білків, які легко засвоюються організмом людини і містять всі незамінні амінокислоти, 20–30 % вуглеводів, а також значну кількість мінеральних речовин, дефіцитних грубих харчових волокон, вітамінів, антиоксидантів та інших біологічно-активних речовин [9, 10].

Щодо насіння промислових конопель українських сортів, наприклад таких сортів як Гляна, Глесія, Глухівські 51 Артеміда і Гармонія, можна сказати, що його склад наступний: вміст вологи в середньому становить 8,31 %, олії – 37,38 %, протеїну – 24,22 %, клітковини – 34,71 %, золи – 5,15 %, 1,67 г/кг кальцію, 8,08 г/кг фосфору, 0,06 г/кг натрію, 6,82 г/кг калію, 4,04 г/кг магнію, 12,62 мг/кг міді, 54,27 мг/кг цинку, 106,28 мг/кг заліза, 0,06 мг/кг кобальту, 95,85 мг/кг марганцю, 0,08

мг/кг свинцю, кадмій – не виявлено [11]. 100 г насіння промислових конопель повністю забезпечує рекомендовану добову потребу організму дорослої людини [12] у фосфорі, міді та марганцю, і на 96 % у магнії, на 59 % – у залізі та на 49 % – у цинку.

Насіння промислових конопель сортів української селекції слід розглядати як цінне джерело мінеральних речовин, особливо щодо вмісту фосфору, магнію, марганцю, міді, цинку та заліза. Мінерали необхідні організму людини для підтримки біохімічних процесів. Вони виконують функціональну і структурну роль та є електролітами. Фосфор є компонентом кісток, клітин та є важливим для біоенергетичних перетворень, підтримує рН організму. Магній необхідний для кісток та перетворення АТФ, приймає участь у скороченні м'язів і контролі кислотно-лужного та водно-сольового балансу [12, 13].

Для населення багатьох розвинутих країн світу властива проблема забруднення харчових продуктів токсичними металами. Вживання продукції з високим вмістом токсичних металів має серйозні наслідки для здоров'я людини, адже це може призвести до порушення деяких клітинних процесів через витіснення основних металів із відповідних біологічних структур. Токсичні метали, такі як свинець, кадмій, ртуть і миш'як дуже розповсюджені в зовнішньому середовищі. Свинець пошкоджує і викликає дисфункцію нирок, печінки, репродуктивної, нервової, сечовидільної та імунної систем. Токсичність кадмію в основному проявляється в таких органах як печінка, нирки, мозок, легені та кістки. Кобальт впливає на зниження функцій легенів, порушення зору та слуху. Мідь, нікель, цинк та залізо з іншої сторони є життєво важливими мікроелементами в організмі людини [14]. Мідь є необхідним компонентом різноманітних окисно-відновних реакцій, бере участь у синтезі колагену та еластину, утворенні гемоглобіну та еритроцитів. Цинк необхідний для функціонування багатьох ферментів, для нормального відчуття смаку та бере участь у синтезі білка. Залізо необхідне для синтезу і функціонування багатьох ферментів і білків, зокрема гемоглобіну, для запобігання анемії, бере участь у клітинному метаболізмі та транспортуванні кисню. Марганець є кофактором ферментів, бере участь у формуванні кісток та

забезпеченні репродуктивної функції [12, 13]. Але при надмірному споживанні названі мікроелементи наносять шкоду організму людини. Тривала дія міді на організм людини часто призводить до сильного подразнення слизових оболонок та центральної нервової системи, пошкодження капілярів, печінки та нирок. Системні дисфункції, які призводять до погіршення росту організму, подразнення шлунково-кишкового тракту пов'язані з надлишком цинку. Розвиток хвороби Паркінсона, зміни серцево-судинної функції можуть бути пов'язані з надлишком марганцю в організмі [14].

Цікавими є дослідження закордонних вчених щодо біохімічного складу насіння промислових конопель, вирощеного в різних країнах.

Насіння сортів промислових конопель Alyssa, Anka, CanMa, CRS-1, CFX-1, CFX-2, Delores, Finola, Jutta, Yvonne, вирощених у Канаді, містило у своєму складі 26,9–30,6 % олії, 23,8–28,0 % протеїну, 32,7–38,8 % клітковини та 5,1–5,8 % золи. Найбагатшим на вміст олії, протеїну та золи виявився сорт Finola, а на вміст клітковини – Anka [15].

Насіння промислових конопель сортів CFX-2, CFX-1, X-59, Canda, CRS-1, Grandi, Katani, Picolo, Delores і Joey, вирощених у США (Північна Дакота), містило у своєму складі 32,75–35,88 % олії, 24,30–28,13 % протеїну, 32,47–37,53 % вуглеводів та 4,86–6,08 % золи, 94,12–120,60 мг/100 г кальцію, 910,38–1014,30 мг/100 г фосфору, 430–482,14 мг/100 г магнію, 22,09–26,49 мг/100 г натрію, 727,03–866,17 мг/100 г калію, 10,88–13,40 мг/100 г заліза, 12–14,59 мг/100 г марганцю, 0,78–0,92 мг/100 г міді, 9,87–11,01 мг/100 г цинку, 0,28–0,30 мг/100 г селену. Найбагатшим на вміст олії та золи виявився сорт CFX-1, протеїну – CFX-2, вуглеводів, кальцію, натрію, калію, марганцю і селену – Delores, фосфору і магнію – Grandi, заліза і цинку – Joey, міді – X-59 [16].

Насіння промислових конопель, вирощене у Греції, сортів Felina 32, Santhica 27, Futura 75, Fedora 32 (Франція), Tygra, Bialobrzeskie (Польща) і Finola (Фінляндія) містило у своєму складі 8,5–29,2 % олії, 12,2–25,4 % протеїну, 4,4–5,3 % золи та 40,8–74,5 % вуглеводів. Лідером за вмістом олії та протеїну із проаналізованих сортів виявився Finola, а за вмістом вуглеводів – Santhica 27 [17].

Насіння промислових конопель, вирощене у США (Канзас), сортів CRS-1, Canda, Tygra, CFX-1, Futura 75, Fedora 17, Felina 32, Katani, Helena, Joey, Глухівські 51, Глесія і ЮСО 31, містило у своєму складі 28,03–33,23 % олії, 26,48–32,03 % протеїну, 28,78–36,55 % клітковини, 5,43–6,32 % золи. Лідером за вмістом олії із проаналізованих сортів виявився сорт Katani, протеїну – CRS-1, клітковини – Canda, золи – Fedora 17 [18].

Насіння конопель, вирощене в Іспанії, сортів Carmagnola, Fedora 17, Felina 32, Bialobrzeskie, Santhica 27, КС Dora, Kompolti, Tiborszallasi містило у своєму складі 29,1–32,66 % олії, 18,3–23,0 % протеїну, 32,5–40,4 % клітковини та 8,7–10,4 % золи. Найбільше олії і протеїну серед проаналізованих сортів мав у своєму складі Bialobrzeskie, клітковини – Kompolti, а золи – Santhica 27 [19].

Насіння сортів конопель Henola і Bialobrzeskie, вирощених у Польщі, містило у своєму складі в середньому 32,52 % олії, 23,47 % протеїну, 28,15 % клітковини та 4,66 % загальної золи. Насіння сорту Henola містило більше олії – $32,75 \pm 1,7$ %, а насіння сорту Bialobrzeskie містило більше протеїну – $23,54 \pm 0,59$ %, клітковини – $28,88 \pm 0,18$ % та золи – $4,66 \pm 0,47$ % [20].

Насіння сортів конопель Felina 32, Santhica 27 і Rodnik, вирощених в Узбекистані містило у своєму складі 29,10–31,70 % олії, 23,44–26,95 % протеїну та 4,95–6,10 % золи. Найбільше олії і золи серед проаналізованих сортів мало у своєму складі насіння конопель сорту Santhica 27, а білків – Rodnik [7].

Проаналізоване [8] насіння промислових конопель сортів Bacalmas, Antal, КС Dora, Fibrol, КС Zuzana, КС Virtus, Monoica, Kompolti, Tisza, Tiborszallasi (Угорщина), Carmagnola (Італія), Chameleon (Нідерланди), Dioica 88, Epsilon 88, Fedora 17, Felina 32, Ferimon FR 8194, Futura 75, Santhica 23 (Франція), Helena, Novosadska, Novosadska+, Marina, Simba (Сербія), Kina (Китай), Lovrin 110, Srcuieni jubilee (Румунія), Silesia, Wojko (Польща), вирощене в різних країнах містило 21,12–35,67 % олії, 21,63–28,92 % протеїну, 25,49–43 % вуглеводів, 4,4–7,49 % золи, . Найбільше олії у своєму складі містило насіння промислових конопель сорту Fibrol, протеїну – Tisza, вуглеводів – Epsilon 88, золи – КС Virtus.

Насіння сорту Felina 32, вирощене в регіоні Північної Європи і Балтії містило у своєму складі 0,69–0,9 % калію, 0,41–0,51 % фосфору, 0,42–0,46 % магнію, 0,10–0,19 % кальцію, 181–334 мг/кг заліза, 58–81 мг/кг мангану, 55–68 мг/кг цинку, 13–20 мг/кг міді, 7–16 мг/кг бору, 6–12,6 мг/кг алюмінію, 0,9–16,1 мг/кг натрію [21].

Насіння промислових конопель сортів Bacalmas, Antal, Monoica, KC Dora, Fibrol, KC Zuzana, KC Virtus, Kompolti, Tiborszallasi, Tisza (Угорщина), Carmagnola (Італія), Chameleon (Нідерланди), Epsilon 88, Dioica 88, Felina 32, Fedora 17, Ferimon FR 8194, Futura 75, Santhica 23 (Франція), Helena, Marina, Novosadska, Novosadska+, Simba (Сербія), Kina (Китай), Lovrin 110, Srcuieni jubilee (Румунія), Silesia, Wojko (Польща), вирощене в різних країнах містило 70,99–177,21 мг/100 г кальцію, 274,66–499,90 мг/100 г магнію, 509,96–1182,65 мг/100 г калію, 5,06–32,37 мг/100 г заліза, 2,84–12,48 мг/100 г марганцю, 0,57–1,47 мг/100 г міді, 2,21–7,93 мг/100 г цинку. Найбільше кальцію і міді у своєму складі містило насіння промислових конопель сорту Helena, магнію – KC Dora, калію – Fibrol, заліза – Antal, марганцю – Tiborszallasi, цинку – Novosadska [13].

Із проведеного аналізу закордонних публікацій випливає, що вміст олії у насінні промислових конопель проаналізованих закордонних сортів в середньому становив 31,93 %, протеїну – 25,36 %, клітковини – 33,44 %, золи – 6,35 %, 1,38 г/кг кальцію, 8,29 г/кг фосфору, 0,23 г/кг натрію, 8,78 г/кг калію, 4,49 г/кг магнію, 11,86 мг/кг міді, 77,75 мг/кг цинку, 159,36 мг/кг заліза, 110,6 мг/кг марганцю;

Найбільший вміст олії (35,88 %) виявлено у складі насіння промислових конопель сорту CFX-1 [16], протеїну (32,03 %) – CRS-1 [18], клітковини (40,40 %) – Kompolti, золи (10,40 %) – Santhica 27 [19], кальцію (1,9 г/кг), міді (20 мг/кг) і заліза (334 мг/кг) – Felina 32 [21], фосфору (10,14 г/кг) – Grandi, натрію (0,26 г/кг), марганцю (145,9 мг/кг) – Delores [16], калію (11,83 г/кг) – Fibrol, магнію (5,00 г/кг) – KC Dora [8], цинку (110,1 мг/кг) – Joey [16].

Якщо порівняти вітчизняні дослідження [11] із закордонними, то можна побачити, що вміст олії у насінні промислових конопель українських сортів Глесія (37,16 %), Глухівські-51 (37,59 %), Гармонія (38,15 %) та Артеміда (38,90 %) перевищує вміст олії у відомих сортах закордонної селекції Finola, Anka, CFX-1,

CFX-2, Katani, CRS-1, Canda, Fedora 17, Rodnik, Santhica 27, Kompolti, Bialobrzeskie, Henola, Tisza, Fibrol, KC Virtus; середній вміст кальцію у насінні промислових конопель українських сортів на 21 % перевищує середній вміст кальцію у насінні промислових конопель закордонних сортів, міді – на 6 %. Вміст олії у насінні промислових конопель сорту Артеміда (максимальний показник серед проаналізованих українських сортів) на 3 % перевищує вміст олії у насінні промислових конопель сорту CFX-1 (максимальний показник серед проаналізованих закордонних сортів). Середній вміст олії у насінні промислових конопель українських сортів на 5,5 % перевищує середній вміст олії у насінні промислових конопель закордонних сортів. Дані щодо вмісту протеїну, клітковини золи та фосфору у проаналізованих сортах української селекції співвідносяться з відомими даними щодо закордонних сортів. Середній вміст натрію у проаналізованому насінні промислових конопель українських сортів на 70 % менший за закордонні сорти, калію – на 22 %, магнію – на 10 %, цинку – на 23,5 %, заліза – на 33 %, марганцю – на 13 % [11].

Враховуючи біохімічний склад насіння конопель, його слід позиціонувати як найбагатший поживними речовинами продукт для харчування. Насіння конопель можна вживати як ціле, так і його продукти переробки – ядро, олію, борошно, білкові концентрати, клітковину тощо [9, 22].

У сучасних технологіях з метою підвищення поживної та біологічної цінності харчових продуктів використовують насіння промислових конопель та продукти його переробки, зокрема у технологіях виробництва хлібобулочних, молочних, м'ясних, кондитерських виробів, а також продуктів для дитячого та спеціального харчування [9].

1.3 Характеристика конопляного борошна та білкових концентратів

Фізико-хімічні показники якості та амінокислотний склад насіння конопель, протеїну, борошна та клітковини наведено в табл. 1.1 [23].

Таблиця 1.1 – Фізико-хімічні показники якості сипких конопляних продуктів [23]

№ з/п	Назва показника	Насіння конопель	Протеїн	Борошно	Клітковина
	Масова частка:				
1.	вологи, %	8,36	7,00	6,50	7,17
2.	протеїну, %*	24,70	52,14	44,01	22,65
3.	олії, %*	33,62	15,68	11,65	10,62
4.	золи, %*	4,99	9,55	8,84	5,05
5.	клітковини, %*	36,85	5,51	13,88	44,94

* в перерахунку на сухі речовини

Насіння конопель містить широкий спектр хімічних сполук, які мають біологічну активність. Зокрема, все більша увага приділяється білкам і біологічно активним пептидам як альтернативному джерелу нутрицевтики. Насіння конопель містить розчинні білки глобуліни або едестін (~ 75 %) і водорозчинний альбумін (~ 25 %) у якості основних запасних білків. Білки насіння конопель містять високий рівень аргініну та білкову фракцію, багату сіркою. Ці дві унікальні особливості надають високу поживну цінність насінню конопель. Конопляний протеїн має антиоксидантні та протизапальні властивості. Він є побічним продуктом в технології конопляної олії [24, 25].

Гідролізати білка конопель, що утворюються в результаті гідролізу, складаються з поліпептидів, олігопептидів та вільних амінокислот, які володіють високою біологічною активністю. Конопляному протеїну притаманні такі функціональні особливості, як: біологічна активність у вигляді антигіпертензивної, гіпохолестеринемічної, антиоксидантної, антитромботичної та імуномодулюючої дії [26]. Конопляний протеїн містить всі незамінні амінокислоти, є повноцінним джерелом білка. Рослинні джерела, як правило, вважаються неповноцінними, однак, конопляний протеїн є винятком. Він містить всі 9 незамінних амінокислот, які є в повноцінних джерелах білка, таких як м'ясо або молочні продукти. Також конопляний протеїн класифікують як джерело високоякісного білка, поряд із соєвим або яечним білком [27]. У [28] зазначено, що лізин є першою

обмежувальною амінокислотою конопляного протеїну. Видалення оболонок покращує його засвоюваність.

У роботі [29] показано, що білкові ізоляти з насіння конопель більш поживні за амінокислотним складом та легко засвоюються, ніж ізолят соєвого білка. Вони можуть використовуватися в якості основного джерела білкового харчування для споживання людиною.

У [30] виявлено вплив сукцинілювання і ацетилювання на деякі функціональні, структурні властивості та засвоюваність трипсину ізоляту конопляного білка. Сукцинілювання призводить до поступового збільшення розчинності конопляного протеїну з 30 до 85–90 %. Ацетилювання конопляного протеїну поліпшує розчинність ізоляту тільки при низькому використанні ангідриду, збільшуючись з 30 до приблизно 50 %. Диференціальна скануюча калориметрія та аналіз спектра власної флуоресценції показали поступове структурне розгортання білків або вплив на гідрофобні кластери розчинника, особливо при більш високих рівнях ангідриду. Також поліпшений рівень засвоюваності трипсину за рахунок сукцинілювання. Результати показали, що сукцинілювання можна застосовувати для модифікації функціональних властивостей конопляного протеїну.

У дослідженні [31] визначено вплив рН і концентрації білка на деякі структурні та функціональні властивості ізоляту білка насіння конопель (вміст білка 84,15 %) та знежиреного білкового борошна насіння конопель (вміст білка 44,32 %). Білковий ізолят мав мінімальну розчинність білка при рН 4,0, яка збільшувалася при зменшенні або підвищенні рН. Навпаки, конопляне борошно мало мінімальне значення розчинності білка при рН 3,0, яке збільшувалося при більш високих значеннях рН. Дані власної флуоресценції і кругового дихроїзму показали, що білки конопляного білкового ізоляту мали чітко визначену структуру при рН 3,0, яка втрачалась при збільшенні значення рН. Відмінності в структурній конформації конопляного білкового ізоляту при різних значеннях рН відбивалися в кращій піноутворюючій здатності при рН 3,0 в порівнянні з рН 5,0, 7,0 та 9,0. Отже, функціональні властивості білкових продуктів насіння конопель залежать

від структурних конформацій, а також від концентрації білка та рН.

У роботі [32] ізоляти конопляного білка гідролізували протеазами (AFP, НТ, ProG, актинідін і зінгібаїн). Фізичні властивості гідролізатів оцінювали за розміром їх часток, дзета-потенціалом та гідрофобністю поверхні. Протеаза НТ мала найвищий рівень активності при найнижчій концентрації (0,1 мг·мл⁻¹) в порівнянні з іншими протеазами, які вимагають концентрації 100 мг·мл⁻¹ для досягнення максимальної казеїнолітичної активності. Це дозволило забезпечити найвищий ступінь гідролізу ізоляту конопляного білка під дією протеази НТ в профілях SDS-PAGE. Серед всіх протеаз і субстратів НТ забезпечила найвищу біологічну активність, отриману з ізоляту конопляного білка, екстрагованого лугом, за найкоротший час (2 год) в порівнянні з іншими препаратами протеаз.

У роботі [33] гідролізат білка насіння конопель отриманий шляхом імітації перетравлення ізоляту білка насіння конопель в шлунково-кишковому тракті. Також виконані наступні часткова очистка та поділ на вісім пептидних фракцій. Пептидні фракції продемонстрували більш високу здатність поглинання радикалів кисню, а також уловлювання 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразильних, супероксидних та гідроксильних радикалів у порівнянні з гідролізатом білка насіння конопель. Активність фракціонованих пептидів з уловлювання радикалів збільшувалася з підвищенням вмісту гідрофобних амінокислот або часу елюювання. Винятком було уловлювання гідроксильних радикалів, які демонстрували тенденцію до зниження. Глутатіон, гідролізат білка насіння конопель та пептидні фракції володіли низькою здатністю відновлювати іони тривалентного заліза, але всі вони володіли сильною (>60 %) активністю хелатування металів. Інгібування окиснення лінолевої кислоти деякими фракціями пептиду гідролізату білка насіння конопель вище при концентрації 1 мг/мл в порівнянні з тим, яке спостерігалось при концентрації пептиду 0,1 мг/мл. Поділ пептидів призвів до більш високої концентрації деяких гідрофобних амінокислот (особливо проліну, лейцину та ізолейцину) у фракціях в порівнянні з гідролізатом білка насіння конопель.

У роботі [34] виявлено, що харчові продукти на основі насіння конопель вважаються менш алергенними, ніж продукти з інших видів насіння. Конопляне

борошно високого ступеня чистоти та ізолят конопляного білка були отримані із знежиреного конопляного шроту, залишків екстракції конопляної олії. У результаті ізолят конопляного білка був збагачений майже на 86 % білком, який складається із запасного білка едестіна (що становить 70 % загального білка). Засвоюваність конопляного білка визначена у пробірці в результаті використання статичної моделі шлунково-кишкового тракту. Конопляне борошно й ізолят конопляного білку показали високу ступінь засвоюваності. Стабільність потенційних біологічно активних і/або алергенних пептидних послідовностей в гідролізатах досліджували за допомогою рептідоміс аналізу. Тільки обмежена кількість послідовностей залишились стабільними в шлунково-кишковому тракті. Всі відомі алергени конопель, включаючи основний тауматин – подібний білок, були повністю усунені в процесі виробництва ізоляту конопляного білку. Одержані дані підтверджують використання ізоляту конопляного білку як інгредієнта для гіпоалергенних продуктів.

У [35] виявлено, що насіння конопель містить значну кількість поживних речовин в конопляному ядрі та в продуктах його переробки (протеїн – 26 % і олія – 36 %). Автори виклали поточний стан знань стосовно конопляного ядра з точки зору його складу, поживної цінності, екстракції, фізико-хімічних, функціональних та біологічних властивостей. Запропоновані різні способи екстракції для вилучення основних фракцій конопляного протеїну з макухи. Протеїн, отриманий з конопляного борошна, належить до глобулінів і альбумінів, має в своєму складі незамінні амінокислоти, які володіють високою засвоюваністю – близько 90 %. Автори підкреслюють, що гідролізати конопляного протеїну мають широкий спектр біологічної активності для здоров'я, таких як антиоксидантні властивості, хелатування металів, антигіпертензивну дію, гіпоглікемічні властивості та ін.

У [36] вивчено вплив термічної обробки на денатурацію та окиснювальну стабільність білка насіння конопель під час моделювання шлунково-кишкового травлення. Розчини теплового денатурованого ізоляту конопляного білка одержували нагріванням (2 мг/мл, рН 6,8) до 40, 60, 80 та 100 °С протягом 10 хв. Денатурацію білкових ізолятів контролювали електрофорезом в

поліакриламідному гелі. Нагрівання ізоляту конопляного білка при температурах вище 80 °С значно знижує розчинність та призводить до утворення великих білкових вузлів. Також досліджено окиснювальну стабільність отриманих пептидів. Нагрівання не чинило істотного впливу на утворення продуктів окиснення. Виявлено, що термічна обробка повинна залишатися нижче 80 °С, якщо необхідно зберегти термостійкість та розчинність ізоляту конопляного білка.

У роботі [24] встановлено, що білки насіння конопель утворюють високоякісні емульсії, подібні емульсіям на основі молока. Показано, що новий концентрат білка насіння конопель має розчинність >70 % при рН 4,0–6,0. Тоді як більшість рослинних білків зазвичай нерозчинні. Використання протеїну насіння конопель в дієті призвело до зниження патологічної інтенсивності захворювання нирок та серцево-судинних порушень. Ферментні гідролізати насіння конопель проявили антиоксидантні та гіпотензивні властивості. На думку авторів, білки та гідролізат насіння конопель доцільно використовувати в якості інгредієнтів для приготування функціональних харчових продуктів.

Висновки за розділом

Насіння промислових конопель та продукти його переробки є перспективною сировиною для збагачення борошняних кондитерських виробів. Насіння конопель має цінний склад, на який можуть впливати різні чинники, у тому числі сортові особливості та регіон вирощування. Воно містить 25–35 % олії зі збалансованим складом жирних кислот, 20–25% білків, які легко засвоюються організмом людини і містять всі незамінні амінокислоти, 20–30 % вуглеводів, а також значну кількість мінеральних речовин, дефіцитних грубих харчових волокон, вітамінів, антиоксидантів та інших біологічно-активних речовин. Конопляний протеїн вживають як самостійний продукт, але мало де його використовують у якості збагачувача.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Сировина, використана в дослідженні

У якості сировини у дослідженні використано борошно пшеничне вищого сорту ТМ «Дніпромлин», цукор білий кристалічний другої категорії ТМ «Розумний вибір», молоко коров'яче питне пастеризоване 2,6 % жиру ТМ «Яготинське», масло вершкове 57,0 % жиру ТМ «Злагода», яйця курячі харчові столові вищої категорії ТМ «Квочка», розпушувач ТМ «Dr. Oetker», сіль ТМ «Артемсіль», конопляний протеїн ТМ «Vegan Prod».

Якість сировинних інгредієнтів, які були використані для виготовлення дослідних зразків комбінованих м'ясорослинних консервів, відповідає вимогам чинних нормативних документів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Відповідність якості сировинних інгредієнтів вимогам чинної нормативної документації

№ з/п	Інгредієнт	Нормативна документація, якій повинен відповідати сировинний інгредієнт
1	Борошно пшеничне вищого сорту	ГСТУ 46.004-99 «Борошно пшеничне. Технічні умови»
2	Цукор-пісок	ДСТУ 4623:2023 «Цукор. Технічні умови»
3	Молоко коров'яче	ДСТУ 2661:2010 «ДСТУ 2661:2010 Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови»
4	Масло вершкове	ТУ У 10.5-01528186-003:2015
5	Яйця курячі	ТУ У 01.4-01200244-001:2021
6	Сіль	ДСТУ 3583:2015 «Сіль кухонна. Загальні технічні умови. З поправкою»

Конопляний протеїн, використаний у дослідженні, вироблений ФОП Мельничук М.Т. (м. Київ). За інформацією від виробника даний продукт містить у

своєму складі 52 % білка, 12 % олії, 10,5 % вуглеводів, 25 % клітковини, енергетична цінність складає 337 Ккал. Крім того у складі використаного нами конопляного протеїну виявлено 2,3 % ω -3, 7% ω -6, 1,5 % ω -9, 140 мг/100 г кальцію, 1420 мг/100 г калію, 650 мг/100 г магнію, 110 мг/100 г натрію, 1420 мг/100 г фосфору, 18 мг/100 г заліза.

2.2 Планування досліджень

Для проведення виготовлення дослідних зразків мафінів використовували ваги лабораторні, столові прибори, лабораторний та кухонний посуд, форми для мафінів, варильну поверхню індукційну та шафу духову електричну.

Дослідні зразки мафінів виготовляли в одній із навчальних лабораторій кафедри харчових технологій (ауд. 227) ДДАЕУ. За прототип рецептури було обрано класичну рецептуру американських мафінів.

Дослідні зразки мафінів готували наступним чином. Відважували необхідну кількість сировинних інгредієнтів, г на 100 г готового продукту: борошно – 40 г, молоко коров'яче – 32 г, цукор-пісок – 30 г, меланж – 11 г, масло вершкове – 10 г, розпушувач – 1,4 г, сіль – 0,1 г. Сухі компоненти (борошно, цукор-пісок, розпушувач, сіль) просіювали, масло вершкове розтоплювали. У окремій ємності змішували борошно, цукор-пісок, розпушувач і сіль, окремо – меланж, молоко і охолоджене розтоплене масло. Потім всі інгредієнти поєднували і замішували тісто, використовуючи вінчик. У рецептурах дослідних зразків замінювали частину борошна пшеничного на конопляний протеїн. Готове тісто розкладали по формам, використовуючи додатково пергаментні форми. Форми заповнювали на половину. Випікали мафіни при температурі 180 °С протягом 20 хв. У результаті отримали наступні зразки: К – контрольний, без додавання конопляного протеїну); МКП-12,5 – мафіни із заміною у рецептурі пшеничного борошна на конопляний протеїн; МКП-25 – мафіни із заміною у рецептурі пшеничного борошна на конопляний протеїн; МКП-37,5 – мафіни із заміною у рецептурі пшеничного борошна на конопляний протеїн.

Фактори досліджень:

- вміст конопляного протеїну – 0 %, 12,5 %, 25 %, 37,5 %;
- тривалість зберігання – 0, 2, 4 діб.
- спосіб зберігання – без пакування, пакування у поліетиленовій упаковці.

2.3 Методика аналізу зразків

2.3.1 Аналіз органолептичних властивостей

Методика проведення аналізу органолептичних властивостей харчових продуктів є важливим етапом у визначенні їх якості. Органолептичний аналіз включає оцінку зовнішнього вигляду, кольору, запаху, смаку, текстури та загального враження від продукту. Даний метод ґрунтується на суб'єктивному сприйнятті та вимагає ретельного дотримання певних умов для забезпечення об'єктивності результатів.

Перш за все, важливо підготувати приміщення та обладнання для проведення аналізу. Приміщення повинно бути добре освітленим, провітреним, із нейтральним запахом, що не заважатиме оцінюванню харчових продуктів. Температура повітря має становити 18–22 °С, а вологість – 60–70 %. Освітлення повинно бути природним або штучним, але без різких тіней, для чого використовують лампи з колірною температурою близько 4000–5000 К.

Для аналізу використовують чистий посуд, столові прибори та спеціальне обладнання, таке як ваги, мірні ложки чи склянки, термометри для перевірки температури продукту, а також серветки для очищення смакових рецепторів між тестуванням різних зразків. Усі учасники тестування повинні бути здоровими, не палити та не вживати їжу чи напої за 1–2 год. до початку оцінювання.

Зразки харчових продуктів для аналізу повинні бути репрезентативними та відповідати стандартам якості. Кожен зразок маркується кодом або номером для уникнення впливу упереджень. Підготовку зразків проводять відповідно до інструкцій, зазначених у нормативній документації. Наприклад, якщо аналізують готовий харчовий продукт, його подають при температурі, рекомендованій для

споживання. У разі тестування напоїв важливо забезпечити правильну температуру подачі (гарячі напої – 60–70 °С, холодні – 10–15 °С).

Аналіз здійснюється за такими етапами:

1. Оцінка зовнішнього вигляду. Учасники аналізу звертають увагу на форму, колір, рівномірність поверхні, присутність дефектів (наприклад, тріщини, плями чи сторонні включення). Для цього використовують як візуальне спостереження, так і допоміжні засоби, наприклад, лупу.

2. Оцінка запаху. Для аналізу запаху зразок підігрівають (за необхідності), щоб посилити ароматичні властивості. Запах оцінюють шляхом легкого вдихання на відстані 2–3 см від зразка. Учасники повинні описати аромат, виділити домінуючі ноти та зазначити можливі сторонні запахи.

3. Оцінка текстури. Текстуру визначають шляхом дотику чи розжовування продукту. Оцінюють твердість, еластичність, хрусткість, однорідність структури та наявність сторонніх часток.

4. Оцінка смаку. Смак оцінюють шляхом повільного розжовування зразка. Учасники аналізують солодкість, кислинку, солоність, гіркоту та інші смакові характеристики. Після кожного зразка ротову порожнину слід очистити водою або нейтральним харчовим продуктом (наприклад, несолоним крекером).

5. Загальне враження. На завершальному етапі оцінюють гармонійність усіх властивостей продукту та його відповідність очікуванням. Учасники записують свої суб'єктивні враження.

Для кількісної оцінки органолептичних властивостей використовують бальну систему або рейтингові шкали. Наприклад, 5-бальну шкалу:

5 балів – відмінно (властивості повністю відповідають або перевищують очікування);

4 бали – добре (незначні відхилення, що не впливають на загальне враження);

3 бали – задовільно (властивості задовольняють мінімальні вимоги);

2 бали – незадовільно (істотні відхилення);

1 бал – неприйнятно (продукт не відповідає вимогам).

Результати записують у спеціальні форми або електронні таблиці, де кожен

учасник зазначає свої оцінки для кожного критерію. Після завершення аналізу проводять обробку даних: обчислюють середню оцінку для кожного критерію та загальну оцінку продукту.

Отримані результати аналізують з метою визначення відповідності продукту стандартам якості. У разі виявлення недоліків можуть бути розроблені рекомендації для покращення продукту. Наприклад, якщо продукт отримав низькі оцінки за текстуру, це може свідчити про необхідність змін у технології його виготовлення чи умовах зберігання.

Для підвищення об'єктивності органолептичного аналізу рекомендують:

- проводити аналіз у декілька етапів із залученням різних груп експертів;
- забезпечувати незалежність учасників, уникаючи впливу їхніх думок один на одного;
- використовувати стандартизовані інструкції та критерії оцінки для всіх видів продуктів;
- періодично проводити тренування для учасників з метою вдосконалення їхніх навичок аналізу.

Таким чином, органолептичний аналіз є важливим інструментом для оцінки якості харчових продуктів, що дозволяє забезпечити їх відповідність очікуванням споживачів та стандартам якості. Чітке дотримання методики проведення аналізу сприяє отриманню достовірних та об'єктивних результатів.

2.3.2 Аналіз текстурних характеристик мафінів

Аналіз текстури харчових продуктів є важливим інструментом для визначення їх фізичних властивостей, які впливають на сприйняття споживачів. Текстура є однією з основних характеристик, яка визначає якість мафінів, тому її аналіз є невід'ємною частиною процесу контролю якості. Використання текстурометра дозволяє об'єктивно оцінити такі властивості, як жорсткість, пружність, клейкість, в'язкість та жувальність. Нижче наведено детальну методику проведення аналізу профілю текстури мафінів за допомогою текстурометра.

Аналізатор текстури (рис. 2.1), який розроблений кафедрою інжинірингу

технічних систем ДДАЕУ (професором Алієвим Е.Б. і доцентом Дудіним В.Ю.), складається зі станини (1), яка забезпечує стійкість пристрою, та напрямної (2), що забезпечує лінійне переміщення. Робочий стіл (3) служить для розміщення зразків, а корпус (4) виконує функцію захисту внутрішніх компонентів. Електроживлення пристрою забезпечується блоком живлення (5).

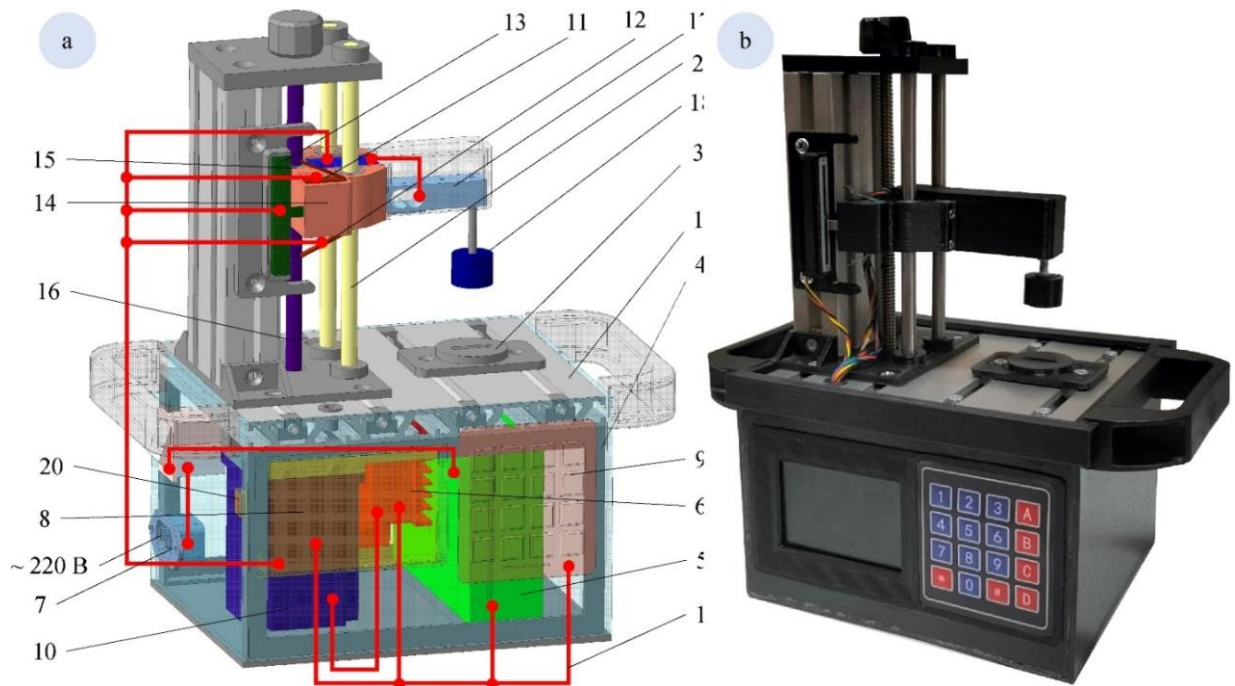


Рисунок 2.1 – Аналізатор текстури

Контролер крокового двигуна ТВ6600 (6) відповідає за керування рухом двигуна, а розетка з вимикачем (7) дозволяє зручно підключати пристрій до мережі. Управління здійснюється через блок керування на основі Arduino MEGA 2560 (8), оснащений 3.5-дюймовим TFT-дисплеєм (320x480), а введення команд виконується за допомогою клавіатури (9). Кроковий двигун (10) забезпечує лінійний рух механізмів, який контролюється верхнім (11) та нижнім кінцевими вимикачами (12). Лінійний змінний резистор (13) використовується для вимірювання положення, а коректа (14) дозволяє виконувати точне налаштування. Гвинт (16) і гайка (15) виступають ключовими елементами механічної передачі. Тензодатчик (17) вимірює зусилля, яке створюється індентором (18), що впливає на зразок. Електричні проводи (19) забезпечують необхідні з'єднання між компонентами, а

USB-вихід (20) дозволяє підключати пристрій до персонального комп'ютера. Для роботи з тензодатчиком використовується підсилювач сигналу НХ711 (21), який дозволяє отримувати точні вимірювання вагового навантаження.

Для забезпечення точності та повторюваності результатів необхідно підготувати зразки мафінів до аналізу. Перш за все, вибирають мафіни однакового розміру, форми, складу та умов випікання.

Це забезпечує мінімізацію варіацій, що можуть вплинути на результати тестування. Перед початком аналізу зразки мають бути охолоджені до кімнатної температури, яка зазвичай становить 20–22 °С. Це важливо для уникнення впливу температурних факторів на фізичні властивості текстури. За необхідності, для аналізу внутрішньої структури мафіни розрізають за допомогою гострого ножа. При цьому важливо уникати пошкодження текстури зразка, щоб результати були максимально точними.

Перед початком тестування проводять підготовку текстурометра. Спочатку прилад вмикають, і перевіряють його калібрування згідно з інструкціями виробника. Вибирають відповідний датчик, який залежить від типу аналізу. Далі, за допомогою програмного забезпечення текстурометра, встановлюють параметри тестування. Основними параметрами є швидкість тестування (зазвичай 1–2 мм/с), глибина компресії (рекомендується 25–50 % від висоти зразка) та кількість циклів стиснення. Зазвичай проводять два цикли стиснення для визначення пружності, в'язкості, клейкості та жорсткості. Після цього зразок закріплюють на платформі текстурометра, забезпечуючи його стабільність для уникнення похибок під час аналізу.

Коли зразок підготовлено, а обладнання налаштовано, розпочинають тестування. Зразок розміщують на платформі текстурометра, забезпечуючи його стійке положення. Після цього запускають програму аналізу. Текстурометр здійснює стиснення зразка відповідно до заданих параметрів. Під час тестування проводиться два цикли стиснення, що дозволяє зібрати дані про такі параметри, як жорсткість, пружність, клейкість, в'язкість та жувальність. Для підвищення точності результатів кожен тест повторюють щонайменше три рази для кожного

типу зразка. Це забезпечує отримання надійних середніх значень та зменшує вплив випадкових похибок.

Під час тестування текстурометр записує показники сили (зусилля), що прикладається до зразка, залежно від часу. Результати аналізу зазвичай відображаються у вигляді графіка, де вісь X представляє час, а вісь Y – силу (рис. 2.2).

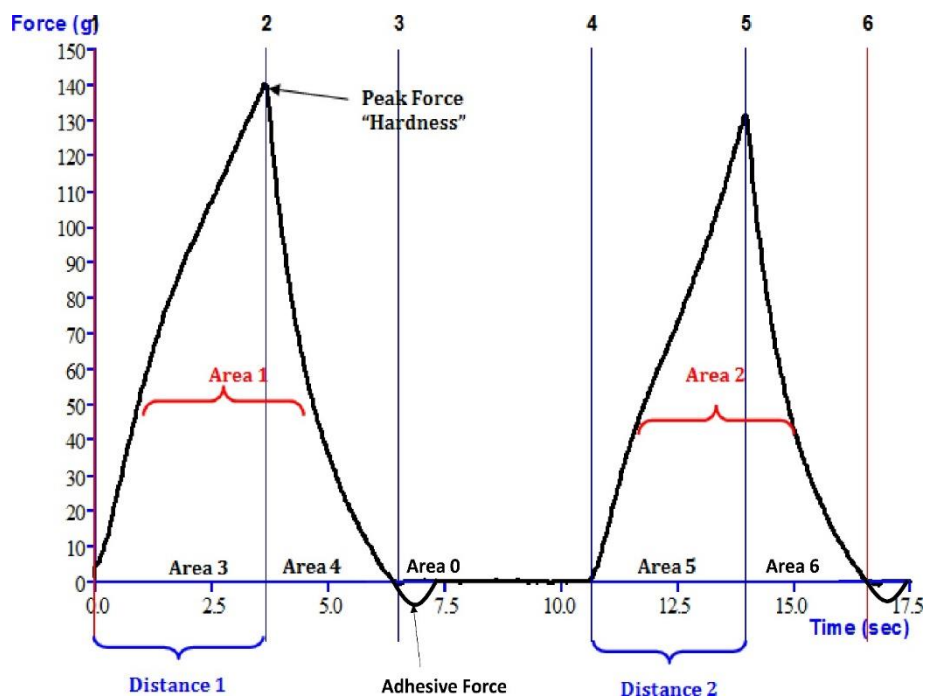


Рисунок 2.2 – Графік текстури продукту тесту ТРА

Основними параметрами, що визначаються, є:

- Твердість визначається як максимальна сила, прикладена під час першого стиснення при заданій деформації (наприклад, 25 %, 50 %, 75 %). Цей параметр описує ступінь стиснення продукту між корінними зубами.
- Стійкість відображає здатність продукту відновлювати свою форму після стиснення. Розраховується як співвідношення енергії висхідного та низхідного ходу першого циклу стискання ($\text{Area 4}/\text{Area 3}$).
- Індекс пружності – це відношення довжини висхідного ходу другого стиснення до висхідного ходу першого ($\text{Distance 2}/\text{Distance 1}$). Він описує, наскільки продукт повертається до початкової форми після деформації.

– Сила адгезії – максимальна негативна сила, що виникає при поверненні індентора. Цей параметр визначає зусилля, потрібне для роз'єднання зубів після відкушування продукту.

– Адгезивність – це площа негативної частини графіка під час першого циклу стиснення (Area 0). Вона характеризує роботу, необхідну для подолання сил зчеплення між поверхнею продукту та іншими матеріалами (зуби, язик, піднебіння).

– Когезивність – співвідношення енергії другого стиснення до енергії першого (Area 2/Area 1). Вона демонструє, наскільки продукт зберігає свою цілісність при повторному стисненні.

– Жувальність розраховується як добуток твердості, когезивності та індексу пружності. Цей показник описує енергію, необхідну для пережовування твердих продуктів до стану, готового для ковтання.

Дані зберігаються для подальшого аналізу та обробки. Графік сили дозволяє візуалізувати фізичні характеристики зразка, а також порівняти різні зразки між собою.

Після завершення тестування проводять обробку отриманих результатів. Для кожного параметра розраховують середнє значення та стандартне відхилення. Також проводять статистичний аналіз для оцінки значущості різниць між зразками. Графічне представлення даних допомагає краще зрозуміти відмінності між зразками та інтерпретувати їх фізичні властивості.

Результати аналізу профілю текстури використовують для оцінки якості мафінів залежно від змін у рецептурі, способу приготування чи інших факторів. Наприклад, збільшення жорсткості може свідчити про недостатню кількість жиру чи неправильну техніку змішування, тоді як зниження пружності може бути результатом використання надмірної кількості рідини. Параметри текстури також можна співставити з органолептичними характеристиками, отриманими під час дегустації, для визначення кореляції між механічними та сенсорними показниками.

Усі параметри тестування, умови проведення експерименту та результати вимірювань мають бути детально занотовані. Звіти повинні включати як кількісні

результати, так і графіки, що ілюструють текстурні властивості мафінів. Також до звіту додають висновки щодо якості текстури досліджуваних зразків та рекомендації для подальшого вдосконалення рецептури чи технології виробництва.

Проведення аналізу профілю текстури мафінів за допомогою текстурометра є надійним та об'єктивним методом оцінки їх фізичних властивостей. Це дозволяє виробникам забезпечити стабільну якість продукції, яка відповідає очікуванням споживачів.

2.3.3 Методика досліджень зміни властивостей мафінів під час зберігання

Гістерезис – це неоднозначний зв'язок між зміною фізичної величини, що описує стан або властивість тіла, та зміною зовнішніх умов. Цей ефект виникає через необоротні зміни у матеріалі під впливом зовнішніх факторів, у результаті яких тіло зберігає так звані залишкові властивості після припинення зовнішнього впливу.

Пружний гістерезис – явище, при якому деформація пружного тіла запізнюється відносно напруження, що діє на нього. У кожен момент часу величина деформації залежить від попередньої історії змін (рис. 2.3).

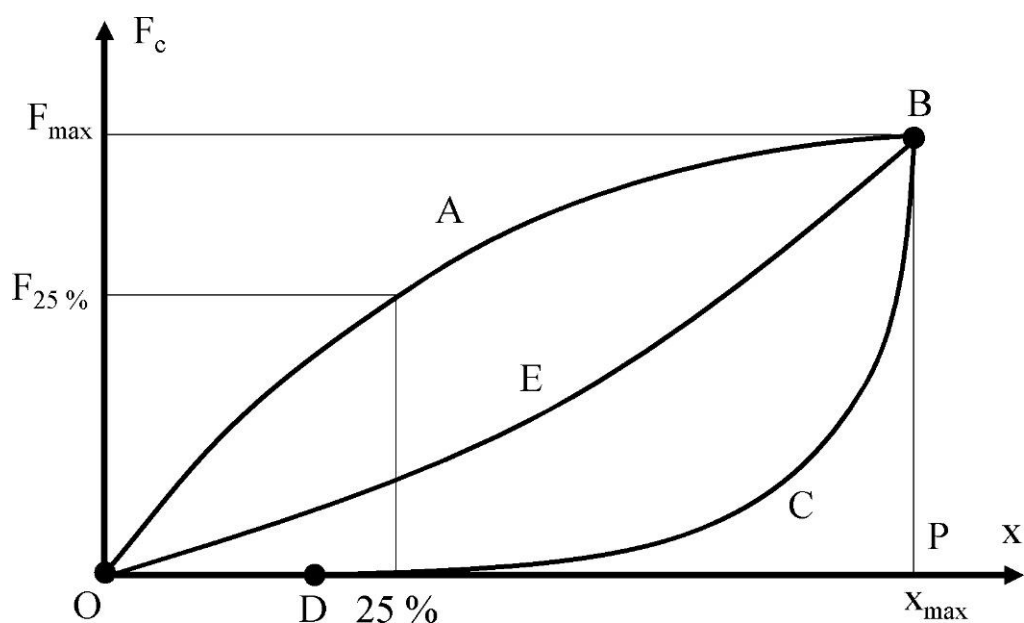


Рисунок 2.3 – Залежність зміни сили від деформації при пружному гістерезису

Механізм пружної післядії у харчових продуктах пов'язаний із переміщенням порожнин у їх внутрішній структурі. До навантаження ці порожнини перебувають у рівновазі, без переміщень. Під впливом зовнішнього стиску відбувається їхній перерозподіл та зменшення розмірів. Водночас внутрішня структура прагне повернутися до початкового стану, що викликає виникнення внутрішніх напружень, які протидіють зовнішній силі. Це явище супроводжується пружною або в'язко-пружною деформацією, залежно від швидкості процесу.

Після зняття навантаження порожнини поступово повертаються до попереднього стану, і тіло намагається відновити свої початкові розміри та структуру. Проте через можливі незворотні руйнування внутрішньої структури повне відновлення неможливе, що призводить до залишкової деформації. Для оцінки цього ефекту іноді застосовують повторне стискання, щоб дослідити зміну кривої пружного гістерезису.

При вивченні реологічних властивостей хлібобулочних виробів під час стиску зазвичай використовують циліндричний індентор, встановлений на тензодатчику. Індентор переміщується з постійною швидкістю 10 мм/с, а його площа робочої поверхні дозволяє точно вимірювати прикладену силу.

На графіку пружного гістерезису показано різні етапи процесу: стискання (крива OAB), розвантаження (крива DCD) та повторне стискання (крива OEB). Точка A відповідає максимальній силі стиску і деформації, точка D – поверненню до рівноважного стану, а відрізок OD – залишковій деформації.

Основними параметрами, які використовують для оцінки реологічних властивостей, є:

- Максимальна сила стиску (F_{\max}) – максимальне значення сили, що прикладається при заданій деформації.
- Сила при 25% деформації ($F_{25\%}$) – показник, що характеризує пружність тіла.
- Енергія деформації при стиску (E_d) – робота, необхідна для стискання.
- Енергія деформації при розвантаженні (E_r) – робота, необхідна для повернення до рівноваги.

- Розсіяна енергія (ΔE) – різниця між енергіями стиску та розвантаження, що відображає поглинену енергію.
- Відносний гістерезис (ψ) – частка поглиненої енергії у процесі стиску.
- Коефіцієнт повторності навантаження (ϕ) – показник змін гістерезису при повторному стиску.
- Залишкова деформація (Δx_{rem}) – частина деформації, яка не зникає після зняття навантаження.

Для деталізації часто використовують графіки в координатах напруженості та відносної деформації, що дозволяє точніше оцінити зміну структури та властивостей тіла під час стиску.

2.4 Методика статистичного аналізу

Статистичний аналіз результатів дослідження профілю текстури мафінів є важливим етапом для оцінки та оптимізації їх якості. Профіль текстури є сукупністю характеристик, що описують фізичні властивості виробу, такі як твердість, пружність, липкість, жуваність, а також загальний відчутний комфорт споживача. Вивчення та аналіз текстури мафінів дозволяють зробити обґрунтовані висновки щодо впливу різних рецептур, технологічних параметрів та умов приготування на кінцеву якість виробу. Статистичні методи, застосовані для оцінки текстурних характеристик, допомагають не лише виявити значущі фактори, а й встановити залежності між різними параметрами текстури.

Збір та підготовка даних. Зібрані дані повинні бути структуровані у таблиці, де кожен стовець відповідає окремій текстурній характеристиці, а кожен рядок – окремому зразку або варіанту приготування мафінів. Дані, як правило, повинні бути перевірені на наявність помилок або пропусків, що може бути виконано за допомогою технік очистки даних.

Описова статистика. Наступним етапом є обчислення основних показників описової статистики для кожної з текстурних характеристик. Середнє значення є основним показником, який дозволяє отримати загальне уявлення про рівень

кожної характеристики текстури. Середнє значення обчислюють за формулою:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.1)$$

де X_i – значення характеристики для i -го зразка, а n – кількість зразків у вибірці.

Середнє значення дає змогу зрозуміти, чи є текстура мафінів переважно м'якою або твердою, пружною чи липкою.

Медіана є корисним показником, коли розподіл даних не є симетричним. Медіана визначає значення, що розташоване посередині набору даних після їх упорядкування за величиною, і є менш чутливою до екстремальних значень порівняно зі середнім.

Мода може використовуватися для виявлення найпоширенішого значення в наборі даних, що також може бути корисно для характеристик текстури, таких як жуваність або твердість.

Ще одним важливим параметром є стандартне відхилення. Стандартне відхилення оцінює, наскільки варіативними є значення характеристики текстури від середнього значення. Чим більше стандартне відхилення, тим більш розкиданими є значення характеристик, що може свідчити про неоднорідність текстури зразків. Воно обчислюється за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.2)$$

Крім того, для оцінки відносної варіативності характеристик можна використовувати коефіцієнт варіації (CV), який визначають як відношення стандартного відхилення до середнього значення:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Цей показник особливо корисний для порівняння варіативності між різними характеристиками текстури.

Кореляційний аналіз. Кореляція використовується для визначення взаємозв'язку між різними характеристиками текстури. Наприклад, може бути вивчено, як твердість мафінів пов'язана з їх жуваністю чи пружністю. Кореляційний аналіз дає змогу визначити, чи існує статистично значущий зв'язок між різними параметрами текстури.

Для цього використовується коефіцієнт кореляції Пірсона, який визначають за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.4)$$

де X_i та Y_i – значення двох різних характеристик текстури, а \bar{X} та \bar{Y} – їх середні значення.

Коефіцієнт кореляції показує, наскільки сильно одна характеристика змінюється разом з іншою, і може варіюватися від -1 (негативний зв'язок) до +1 (позитивний зв'язок).

Аналіз варіацій (ANOVA). Коли проводять дослідження з кількома групами зразків, наприклад, мафіни, приготовлені за різними рецептурами або при різних умовах, використовують аналіз варіацій (ANOVA). Цей метод дозволяє визначити, чи є статистично значущі відмінності між групами. Наприклад, можна порівняти, чи відрізняється текстура мафінів, приготованих з різними пропорціями інгредієнтів.

Основна модель ANOVA виглядає наступним чином:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \quad (2.5)$$

де Y_{ij} – значення характеристики текстури для j -го зразка в i -й групі, μ – загальний середній, α_i – ефект i -ї групи, а ϵ_{ij} – випадкова похибка.

Тест Фішера використовують для перевірки нульової гіпотези про відсутність відмінностей між групами. Якщо р-значення є меншим за вибраний рівень значущості (зазвичай 0,05), то гіпотеза відхиляється, і робиться висновок, що між групами є значущі відмінності.

Регресійний аналіз. Для вивчення взаємозв'язків між різними змінними (наприклад, між технологічними умовами приготування та текстурою мафінів) може застосовуватися регресійний аналіз. Цей метод дозволяє побудувати математичну модель, яка описує залежність між незалежними змінними (наприклад, температурою випікання, часом приготування) та залежною змінною (наприклад, твердістю мафінів).

Лінійна регресія моделює зв'язок між двома змінними за допомогою рівняння:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \quad (2.6)$$

де Y – залежна змінна (наприклад, твердість мафінів), X – незалежна змінна (наприклад, температура приготування), β_0 та β_1 – коефіцієнти моделі, а ϵ – випадкова похибка.

Результати регресійного аналізу дозволяють зробити прогноз щодо зміни характеристик текстури мафінів при зміні технологічних параметрів.

Графічне представлення даних. Для наочного представлення результатів статистичного аналізу використовують різні графічні методи. Це дозволяє легко виявляти тенденції, відхилення і взаємозв'язки між параметрами. Зокрема, використовують гістограми для вивчення розподілу значень текстурних характеристик, а також боксплоти для порівняння розподілів текстури серед різних груп зразків.

Діаграми розсіювання дозволяють виявити кореляції між двома змінними, а кореляційні матриці надають більш загальний огляд взаємозв'язків між всіма текстурними характеристиками.

Тестування гіпотез. На завершення важливо провести тестування гіпотез, щоб перевірити статистичну значущість результатів. Зазвичай використовують t-тести для порівняння середніх значень між двома групами (наприклад, для порівняння текстури мафінів з різних інгредієнтів) або тест Шапіро-Уїлка для перевірки нормальності розподілу даних.

Статистичний аналіз результатів дослідження текстури мафінів є необхідним інструментом для оцінки та покращення якості продукту. Він дозволяє виявити значущі залежності та варіації характеристик текстури, що допомагає оптимізувати рецептуру та технологію приготування. За допомогою статистичних методів можна зробити обґрунтовані висновки щодо факторів, які найбільше впливають на якість текстури мафінів, і прийняти ефективні рішення для її поліпшення.

Висновки за розділом

Органолептичний аналіз є ключовим етапом оцінки якості харчових продуктів, включаючи оцінку зовнішнього вигляду, кольору, запаху, текстури, смаку та загального враження. Отримані дані дозволяють виявити недоліки та вдосконалити технології виробництва. Аналіз текстурних характеристик є важливим інструментом оцінки якості мафінів, адже фізичні властивості текстури значною мірою впливають на сприйняття споживачів. Використання текстурометра дозволяє об'єктивно визначити жорсткість, пружність, клейкість, в'язкість та жувальність. Підготовка зразків та обладнання, стандартизовані умови тестування, а також статистична обробка результатів забезпечують високу точність та повторюваність досліджень. Отримані дані допомагають оцінити вплив змін рецептури чи технології виробництва на якість продукції та сприяють вдосконаленню процесів для забезпечення стабільної якості мафінів.

Розроблено методику дослідження змін властивостей мафінів під час зберігання, що базується на аналізі пружного гістерезису. Використання циліндричного індентора дозволяє оцінювати максимальну силу стиску, енергії деформації, залишкову деформацію та відносний гістерезис. Методика забезпечує точну оцінку змін структури мафінів та їх здатності відновлювати форму, що є ключовим для визначення якості під час зберігання.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Органолептичні властивості мафінів

На рис. 3.1 зображено зовнішній вигляд дослідних зразків мафінів, а на рис. 3.2 – дослідні зразки мафінів у розрізі.



Рисунок 3.1 – Дослідні зразки мафінів,
зліва направо зразки: К, МКП-12,5, МКП-25, МКП-37,5



Рисунок 3.2 – Дослідні зразки мафінів у розрізі,
зліва направо зразки: К, МКП-12,5, МКП-25, МКП-37,5

У дегустаційній комісії працювало 18 чоловік, які були пересічними споживачами. Оцінювали дослідні зразки мафінів за такими показниками, як : форма, поверхня, колір, вид у розломі, смак та запах.

Форма всіх дослідних зразків мафінів відповідала формі, у якій проводили випікання, без надломів. Поверхня була не підгоріла, були наявні незначні тріщини, при чому чим більшим був вміст конопляної добавки, тим більше було тріщин на поверхні мафінів. Колір змінювався від світло-жовтого (контроль) до темно-

коричневого, у міру збільшення конопляної добавки, колір ставав темнішим. Щодо виду у розломі всі дослідні зразки були добре пропечені, слідів непромісу не було виявлено. Смак і запах були характерні даному виробу із присмаком конопляної добавки, у міру додавання добавки смак і запах ставали більш виражені. Сторонніх присмаку та запаху не було виявлено.

Загальна середня бальна оцінка наведена у табл. 3.1. Органолептичний профіль дослідних зразків мафінів наведений на рисунку 3.3.

Таблиця 3.1 – Органолептичні показники якості дослідних зразків мафінів

Показник	Ваговий коефіцієнт	Зразки мафінів			
		К	МКП-12,5	МКП-25	МКП-37,5
Форма	0,5	5	5	5	5
Поверхня	1	5	5	5	5
Колір	1,5	5	4,8	4,8	5
Запах	3	5	5	4,6	4,2
Смак	3	5	5	4,4	4
Вид у розломі	1	5	5	4,6	3,2
Загальна органолептична оцінка	-	50,0	49,7	46,3	42,8

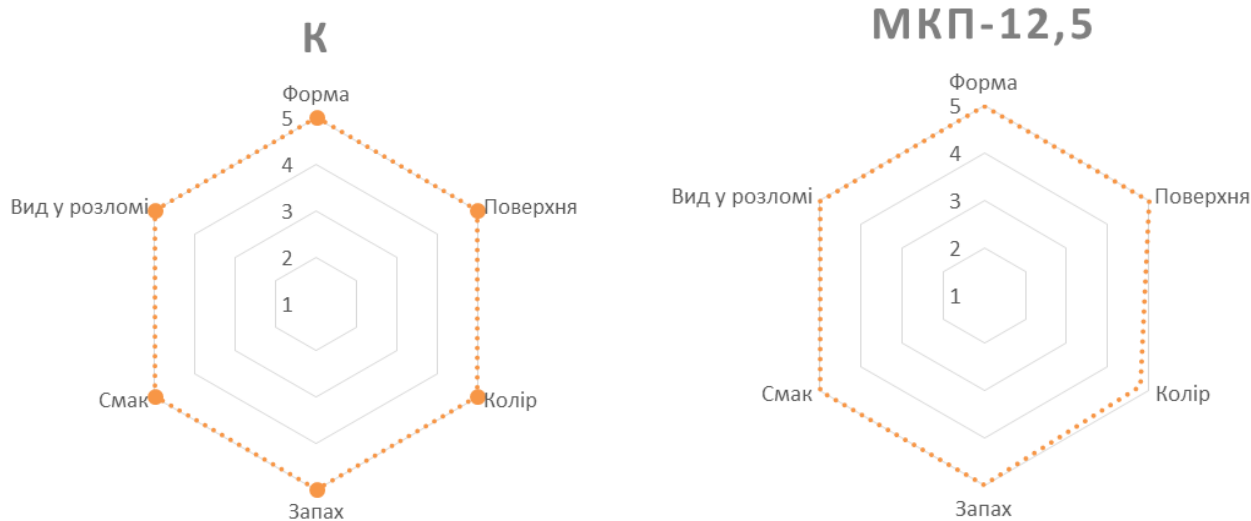


Рисунок 3.3 – Органолептичний профіль дослідних зразків мафінів



Рисунок 3.3 – Органолептичний профіль дослідних зразків мафінів (продовження)

На основі значення загальної органолептичної оцінки побудовано гістограму (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Загальна органолептична оцінка

На гістограмі видно, що всі зразки отримали високі бали. Найменше балів було у зразка із найбільшим вмістом конопляної добавки (25 %). Найкращими із дослідних виявився контрольний зразок (без конопляної добавки) і зразок із найменшим вмістом конопляної добавки (12,5 %).

3.2 Реологічні властивості мафінів

Процес дослідження реологічних властивостей мафінів приведений на рис. 3.5. Рис. 3.6 відображає процес стиску мафінів індентором аналізатора текстури.

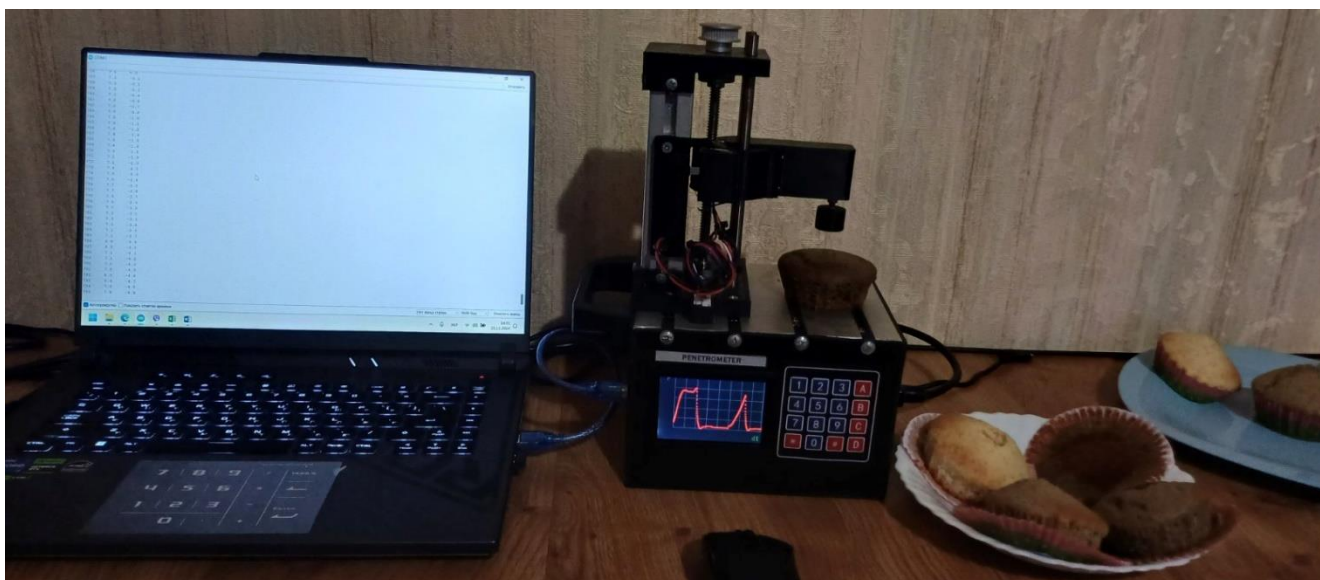


Рисунок 3.5 – Процес дослідження реологічних властивостей мафінів

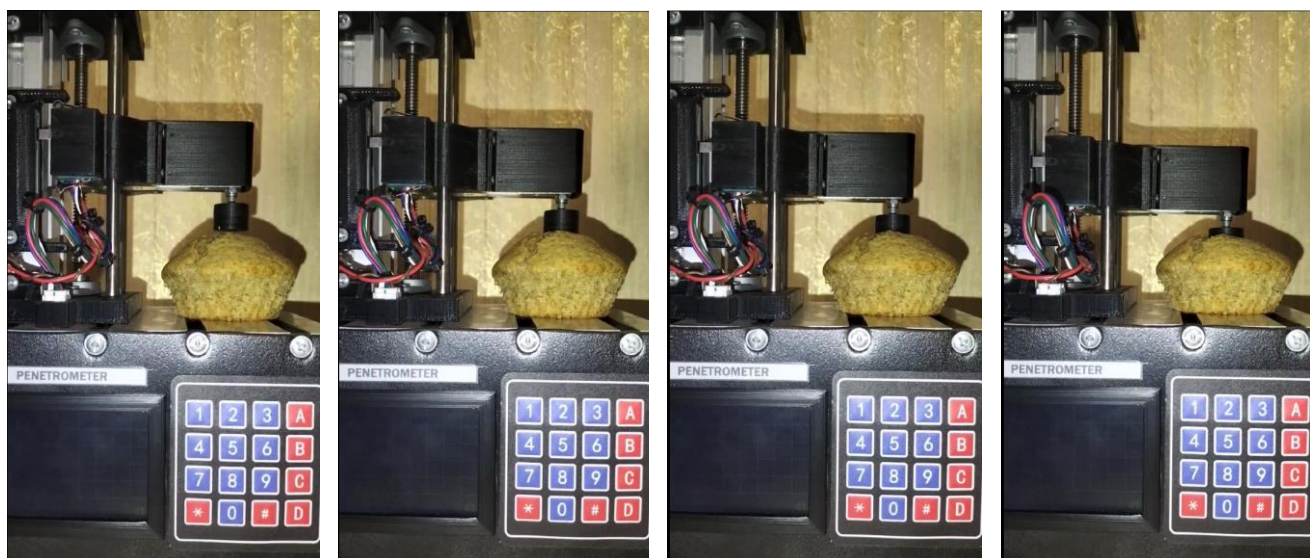


Рисунок 3.6 – Процес стиску мафінів індентором аналізатора текстури

У результаті досліджень отримано графік ТРА кожного зразка мафінів при різному вмісту конопляного протеїну (рис. 3.7).

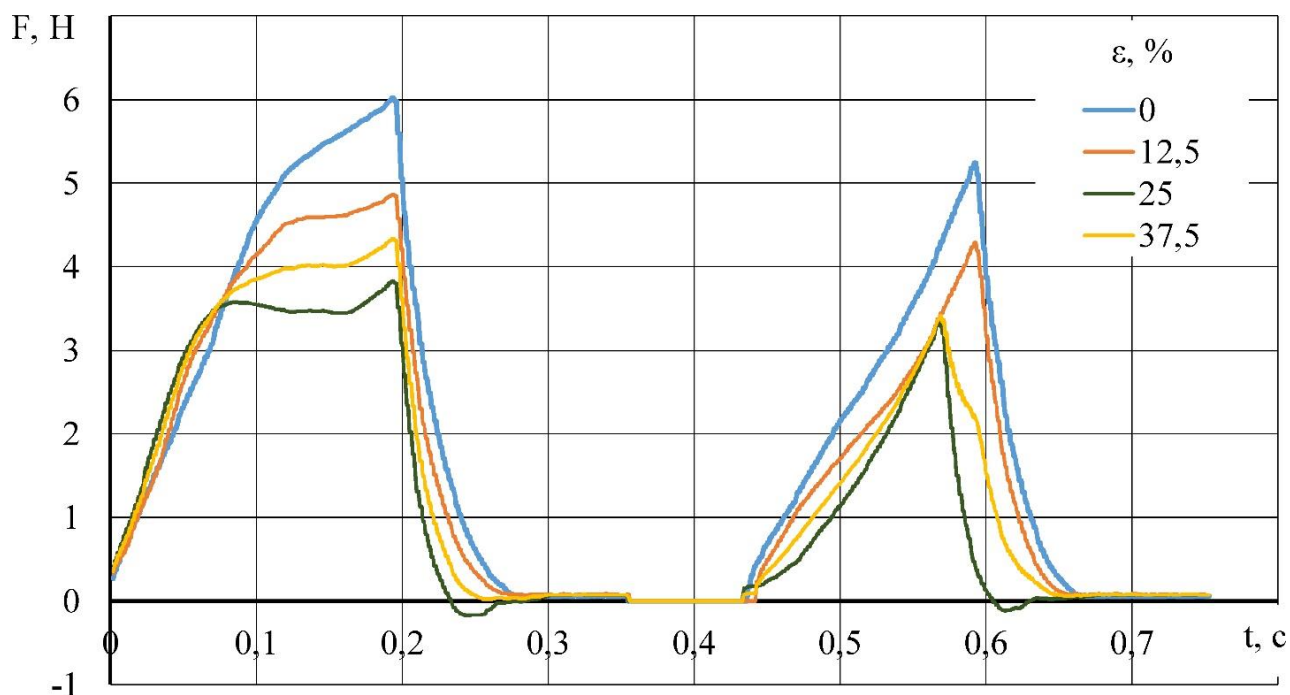


Рисунок 3.7 – Графіки текстури продукту тесту ТРА кожного зразка мафінів

У програмному пакеті Microsoft Excel розраховані показники, які зазначені в розділі 2.3 для кожного зразка мафінів. Загальний вигляд оброблених даних для кожного фактору досліджень представлений в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку показників текстури мафінів із різним вмістом конопляного протеїну

Вміст конопляного протеїну, %	0,0	12,5	25,0	37,5
Твердість, Н	6,02±0,05	4,87±0,05	4,34±0,05	3,83±0,05
Стійкість	0,206±0,002	0,173±0,002	0,132±0,002	0,092±0,002
Індекс пружності	0,816±0,011	0,814±0,011	0,704±0,011	0,663±0,011
Сила адгезії, Н	0	0	0,130±0,007	0,341±0,007
Адгезивність, Н·м	0,000	0,000	0,143±0,009	0,036±0,009
Когезивність	0,584±0,015	0,523±0,015	0,443±0,015	0,360±0,015
Пружність, Н/м	310,5±0,2	250,8±0,2	223,6±0,2	197,5±0,2
Жувальність	2,87	2,07	1,35	0,91

Збільшення вмісту конопляного протеїну в мафінах призводить до суттєвих змін у їх текстурних властивостях (рис. 3.8). Твердість поступово знижується зі 6,02 Н (при 0 % протеїну) до 3,83 Н (при 37,5 %), що вказує на зменшення структурної цілісності продукту, ймовірно, через порушення клейковинної сітки. Аналогічно, стійкість зменшується з 0,206 до 0,092, демонструючи втрату здатності продукту відновлювати форму після стиснення. Індекс пружності залишається майже стабільним при 0 % і 12,5 % (близько 0,81), але суттєво знижується до 0,663 при 37,5 %, що свідчить про поступову втрату еластичності.

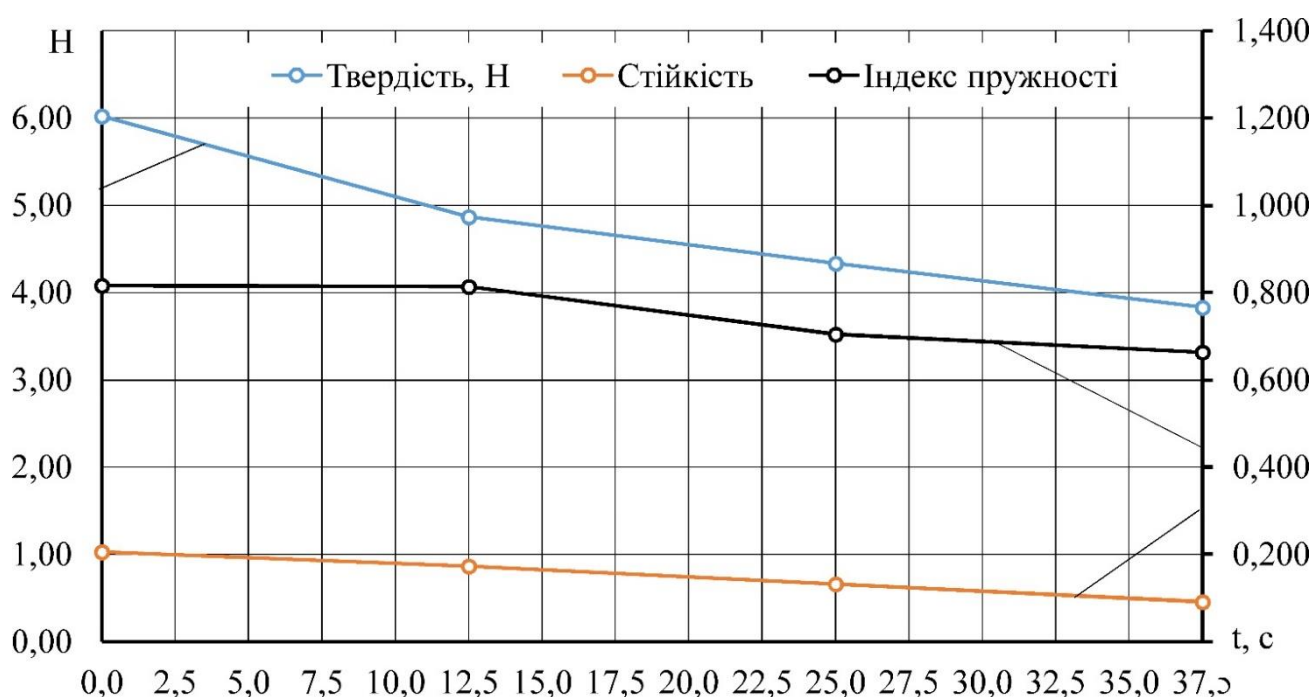


Рисунок 3.8 – Залежність зміни твердості, стійкості і індексу пружності мафін від вмісту конопляного протеїну

Сила адгезії, яка відсутня при 0 % і 12,5 %, зростає до 0,130 Н при 25 % і до 0,341 Н при 37,5 %, що свідчить про підвищення липкості продукту через включення конопляного протеїну. Адгезивність, аналогічно, з'являється при 25 % (0,0143 Н·м), а при 37,5 % до 0,036 Н·м, що, можливо, пояснюється перенасиченням тіста білковими компонентами. Когезивність також суттєво зменшується – від 0,584 до 0,360, що вказує на зниження здатності продукту витримувати повторні деформації (рис. 3.9).

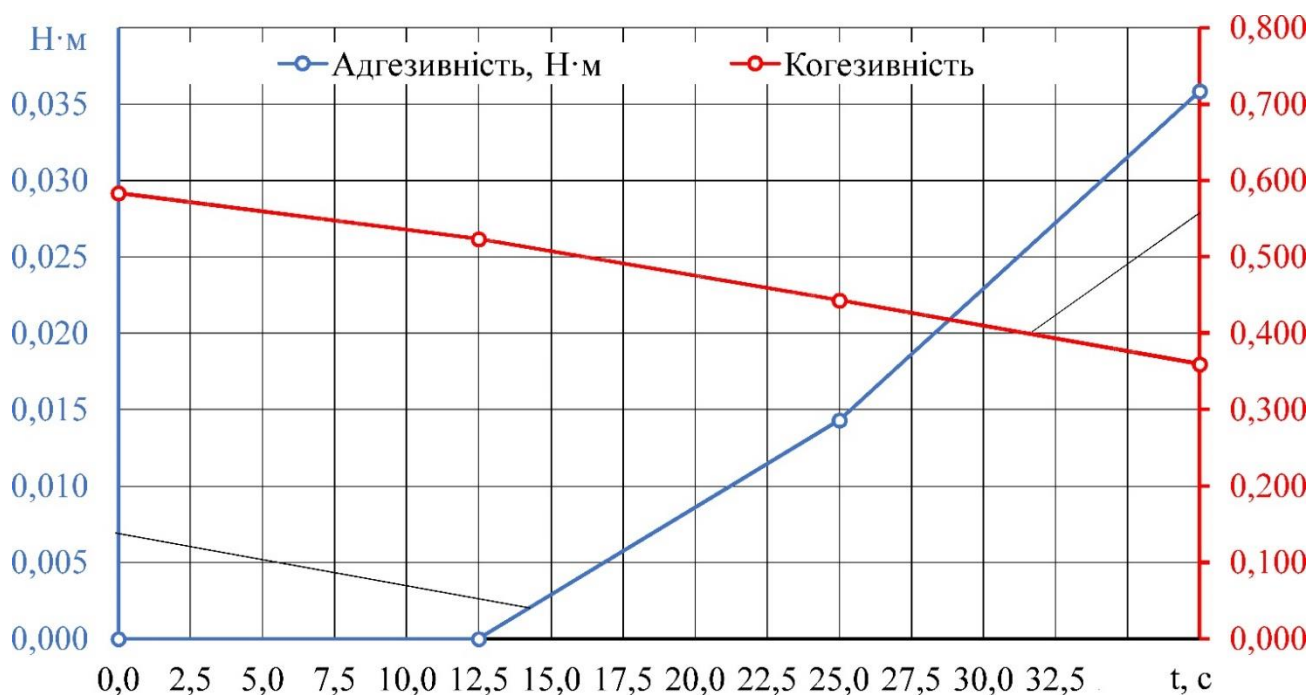


Рисунок 3.9 – Залежність зміни твердості, стійкості і індексу пружності мафінів від вмісту конопляного протеїну

Пружність мафінів знижується з 310,5 Н/м при 0 % до 197,5 Н/м при 37,5 %, що означає, що продукт стає менш пружним і більш схильним до деформацій. Жувальність зменшується майже втричі – з 2,87 до 0,91, що підтверджує зниження структурованості текстури (рис. 3.9).

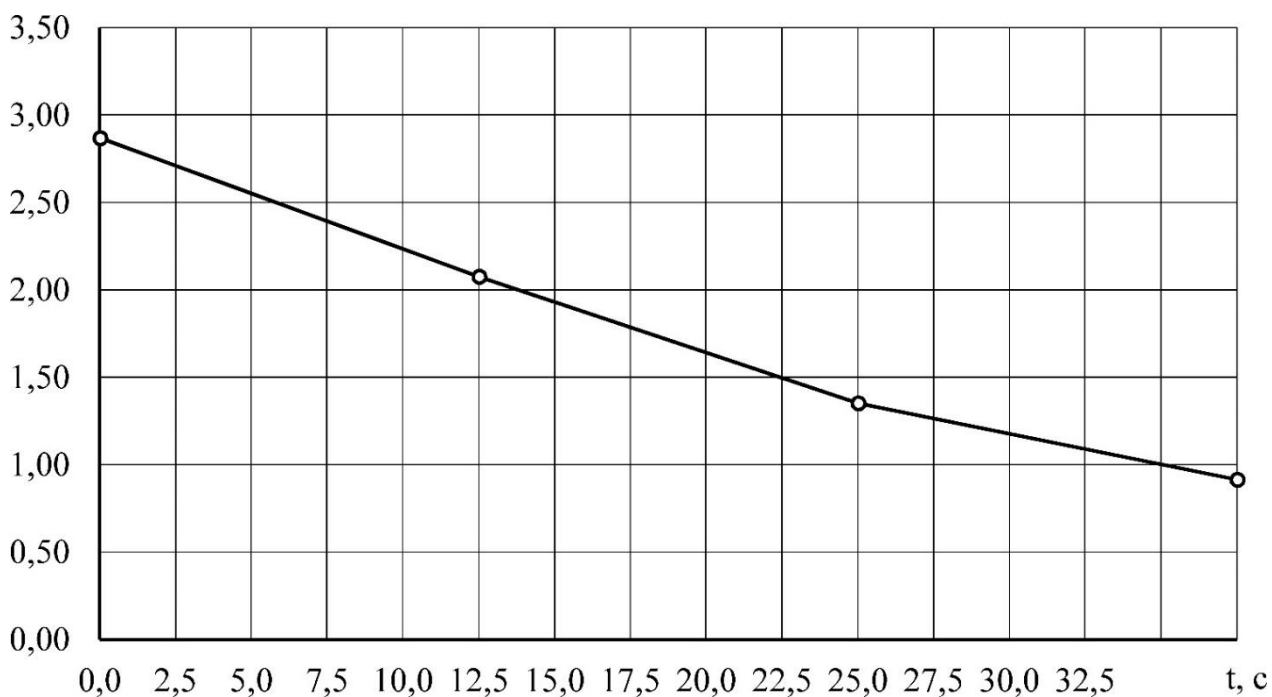


Рисунок 3.10 – Залежність жувальності мафінів від вмісту конопляного протеїну

Таким чином, збільшення вмісту конопляного протеїну негативно впливає на механічні властивості мафінів, зокрема на твердість, пружність, когезивність та жувальність, тоді як липкість та адгезивність суттєво зростають при вмісті протеїну понад 25 %. Оптимальним можна вважати рівень додавання конопляного протеїну в межах 12,5–25 %, оскільки на цьому етапі спостерігається збереження ключових текстурних властивостей із мінімальним негативним впливом на якість продукту.

3.3 Зміна властивостей мафінів під час зберігання

За отриманими результатами досліджень отримані графіки пружного гістерезису, які наведені на рис. 3.11–3.15. На рисунках зазначається сила стиску m виражена в гс (грам сили), абсолютна деформація зразка x виражена в мм. Досліди проводилися для п'яти факторів: свіжі мафіни (зберігання – 0 діб), мафіни на відкритому повітрі без пакування (зберігання – 2 і 4 доби) і мафіни у поліетиленовій упаковці (зберігання – 2 і 4 доби). Загальна кількість зразків для кожного з варіантів (повторність) – 3.

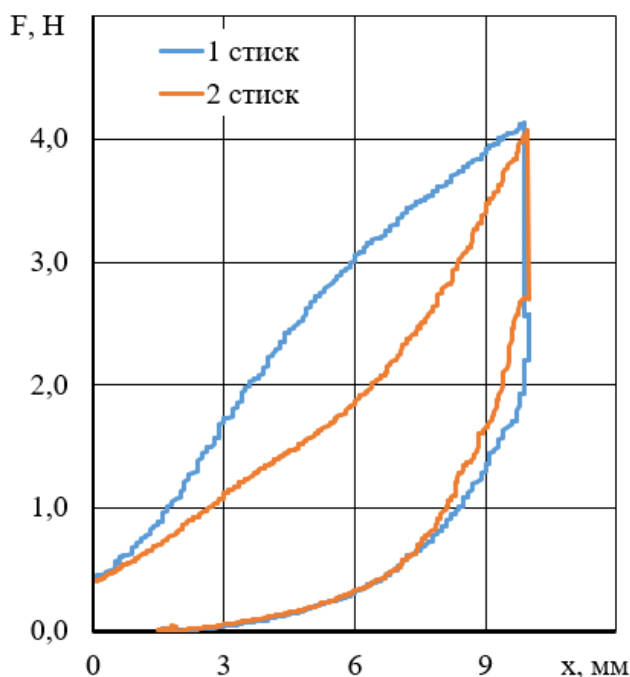


Рисунок 3.11 – Петля гістерезису для стиску зразка свіжого мафіна (зберігання – 0 діб)

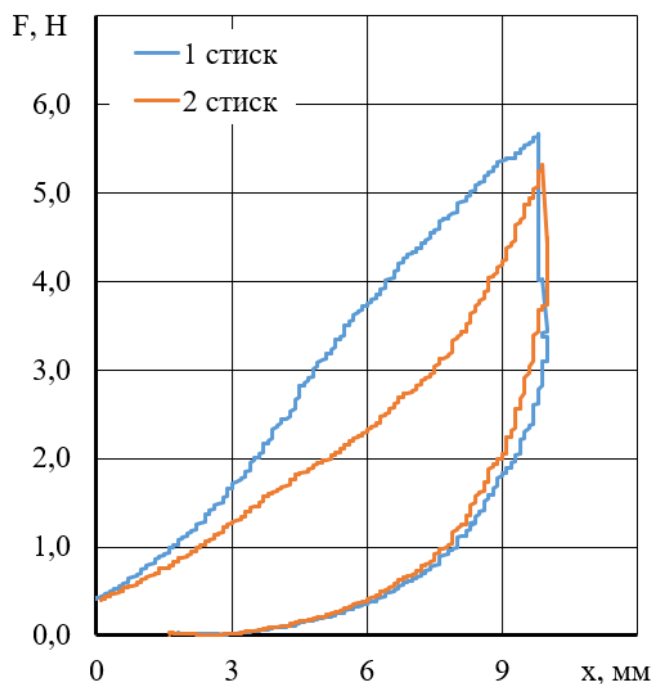


Рисунок 3.12 – Петля гістерезису для стиску зразка мафіна, який зберігався на відкритому повітрі без пакування 2 доби

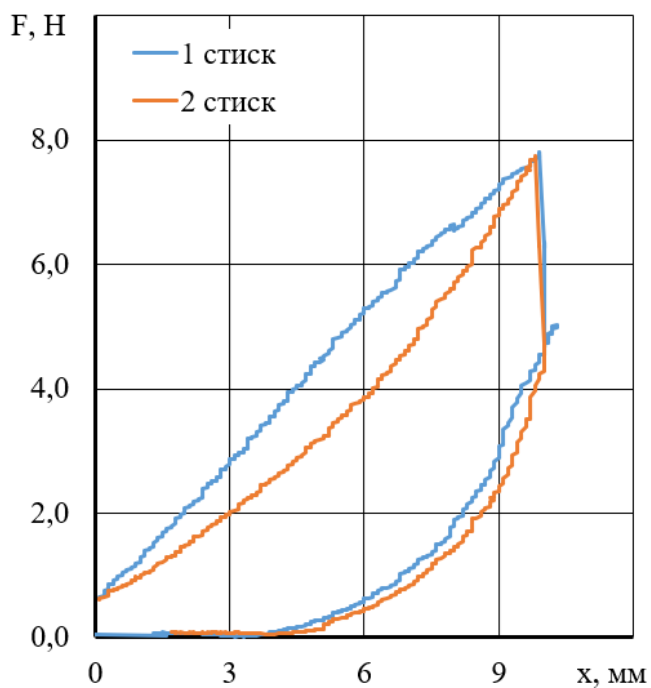


Рисунок 3.13 – Петля гістерезису для стиску зразка мафіна, який зберігався на відкритому повітрі без пакування 4 доби

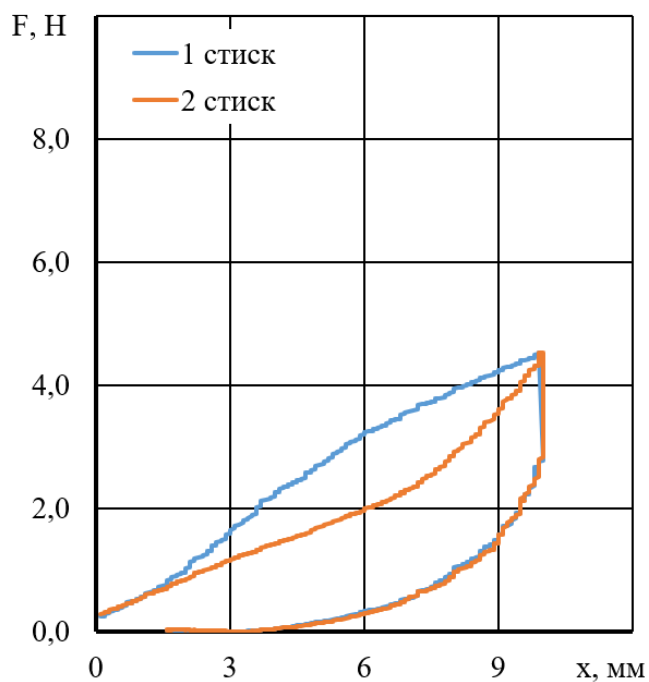


Рисунок 3.14 – Петля гістерезису для стиску зразка мафіна, який зберігався у поліетиленовій упаковці 2 доби

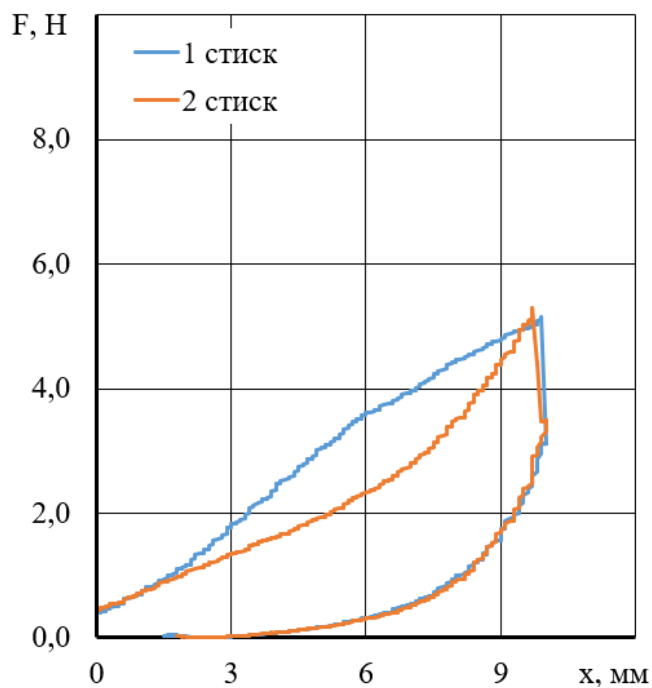


Рисунок 3.15 – Петля гістерезису для стиску зразка мафіна, який зберігався у поліетиленовій упаковці 4 доби

У програмному пакеті Microsoft Excel розраховані показники, які зазначені в розділі 2.3 для кожної повторності (зразка). Загальний вигляд оброблених даних для кожного фактору досліджень наведений в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку показників стиску мафінів для кожного фактору досліджень

Показник	Фактор	Без пакування			З пакуванням		
	Діб	0	2	4	0	2	4
Сила при деформації 25 % при 1 стиску $F_{25\%1}$, Н		1,337	1,398	2,415	1,337	1,159	1,500
Сила при деформації 25 % при 2 стиску $F_{25\%2}$, Н		1,062	1,053	1,889	1,062	0,958	1,168
Коефіцієнт пружності при 1 стиску k_1 , Н/мм		0,535	0,559	1,016	0,535	0,464	0,600
Коефіцієнт пружності при 2 стиску k_2 , Н/мм		0,425	0,421	0,756	0,425	0,383	0,467
Максимальне значення сили при 1 стиску F_{max1} , Н		4,147	5,690	7,752	4,147	4,465	5,177
Максимальна деформація при 1 стиску x_{max1} , мм		10,0	10,0	10,3	10,0	10,0	10,0
Максимальне значення сили при 2 стиску F_{max2} , Н		4,111	5,255	7,764	4,111	4,466	5,305
Максимальна деформація при 2 стиску x_{max2} , мм		10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Енергія деформації при 1 стиску E_{d1} , Н·мм		24,631	30,501	44,183	24,631	24,406	30,657
Енергія деформації при 1 розвантаженні E_{r1} , Н·мм		4,718	7,141	13,521	4,718	5,456	11,849

Показник	Фактор	Без пакування			З пакуванням		
	Діб	0	2	4	0	2	4
Енергія деформації при 2 стиску E_{d2} , Н·мм		18,705	21,269	35,844	18,705	19,552	22,204
Енергія деформації при 2 розвантаженні E_{r2} , Н·мм		5,297	6,668	8,297	5,297	5,501	6,725
Відносний гістерезис при 1 стиску ψ_1 , %		80,8	76,6	69,4	80,8	77,6	74,4
Відносний гістерезис при 2 стиску ψ_2 , %		71,6	68,6	63,9	71,6	70,8	69,7
Коефіцієнт повторності навантаження ϕ , %		11,3	10,4	8,0	11,3	8,7	6,5

Аналіз табл. 3.3 демонструє вплив умов зберігання мафінів (без пакування та в поліетиленовій упаковці) на реологічні показники під час стиску. Основні спостереження включають наступне.

Значення сили при 25 % деформації ($F_{25\%}$) для мафінів без пакування збільшується з 1,337 Н до 2,415 Н протягом 4 діб, що вказує на зростання жорсткості структури через втрату вологи. У мафінів із пакуванням цей показник підвищується менш інтенсивно, зберігаючи пружність довше. Коефіцієнт пружності (k) у зразків без пакування суттєво зростає з часом, тоді як у зразків із пакуванням зміни менш помітні, що свідчить про менші структурні зміни.

Максимальна сила стиску (F_{\max}) також збільшується у всіх зразках, але у мафінів у поліетиленовій упаковці цей процес відбувається повільніше, демонструючи захисну роль пакування. Енергія деформації при стиску (E_d) значно зростає для обох варіантів зберігання, проте енергія при розвантаженні (E_r) та відносний гістерезис (ψ) змінюються менше у зразків із пакуванням (рис. 3.16). Це свідчить про збереження більш еластичної структури. Відносний гістерезис (ψ) для мафінів без пакування зменшується з 80,8 % до 69,4 %, тоді як у зразків із пакуванням досягає 74,4 %, що свідчить про менші втрати еластичності (рис. 3.17).

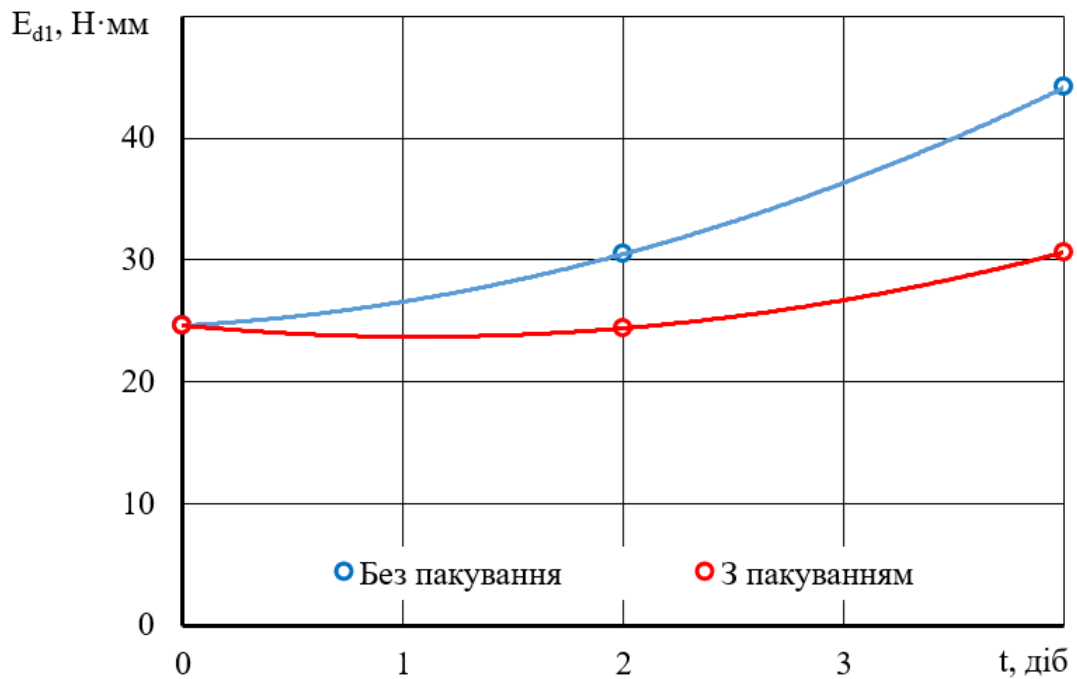


Рисунок 3.16 – Залежність енергії деформації (E_{d1} , Н·мм) від тривалості зберігання (t , діб)

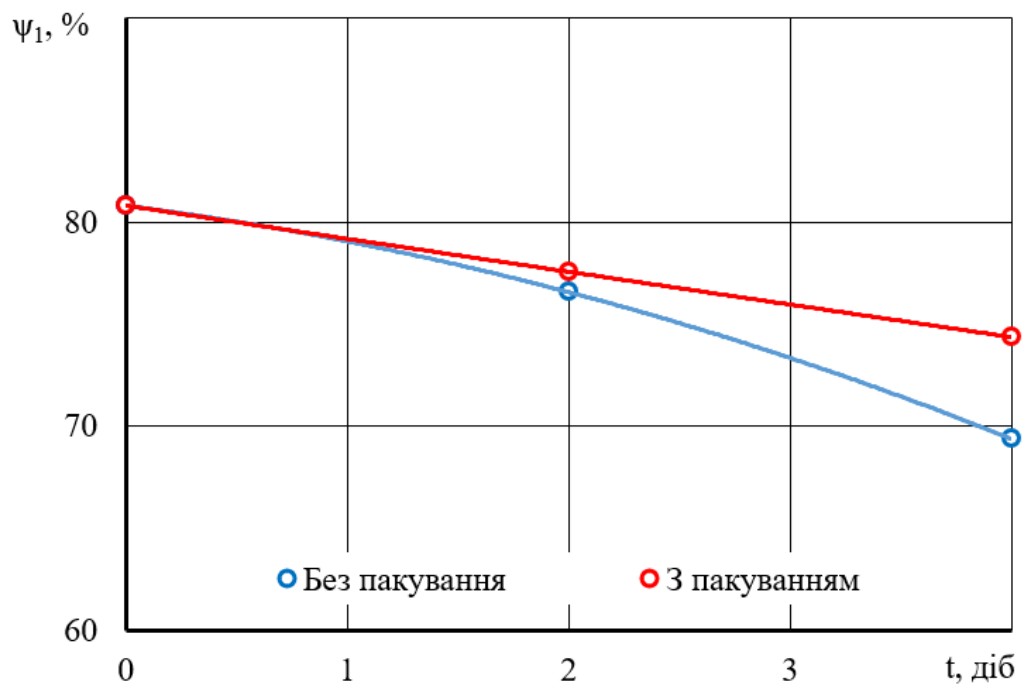


Рисунок 3.17 – Залежність відносний гістерезис мафін (ψ_1 , %) від тривалості зберігання (t , діб)

Коефіцієнт повторності навантаження (φ) зменшується у мафінів без пакування більш істотно, що свідчить про зниження здатності структури до

відновлення після повторного стиску. Поліетиленова упаковка ефективно захищає мафіни від втрати вологи і структурних змін, дозволяючи зберігати їхні початкові властивості протягом 2–4 діб. Зберігання без пакування призводить до значного погіршення реологічних характеристик через втрату вологи та зростання жорсткості структури.

Висновки за розділом

Форма всіх дослідних зразків мафінів відповідала формі, у якій проводили випікання, без надломів. Поверхня була не підгоріла, були наявні незначні тріщини, при чому чим більшим був вміст конопляної добавки, тим більше було тріщин на поверхні мафінів. Колір змінювався від світло-жовтого (контроль) до темно-коричневого, у міру збільшення конопляної добавки, колір ставав темнішим. Щодо виду у розломі всі дослідні зразки були добре пропечені, слідів непромісу не було виявлено. Смак і запах були характерні даному виробу із присмаком конопляної добавки, у міру додавання добавки смак і запах ставали більш виражені. Сторонніх присмаку та запаху не було виявлено. У результаті дегустаційної оцінки всі зразки отримали високі бали. Найменше балів було у зразка із найбільшим вмістом конопляної добавки (25 %). Найкращими із дослідних виявився контрольний зразок (без конопляної добавки) і зразок із найменшим вмістом конопляної добавки (12,5 %).

Збільшення вмісту конопляного протеїну в мафінах значно впливає на їхні реологічні та текстурні властивості. Встановлено, що зі збільшенням концентрації протеїну зменшуються твердість, пружність, когезивність та жувальність продукту, що свідчить про зниження структурної цілісності. Водночас при вмісті протеїну понад 25 % спостерігається суттєве підвищення липкості та адгезивності, що може бути пов'язано з перенасиченням тіста білковими компонентами. Оптимальним рівнем додавання конопляного протеїну є 12,5–25 %, оскільки в цьому діапазоні зберігаються ключові текстурні властивості мафінів із мінімальним негативним впливом на якість продукту.

Дослідження зміни властивостей мафінів під час зберігання показали, що упаковка у поліетилен значно уповільнює процеси деградації текстури та зберігає еластичність продукту. Мафіни без пакування демонструють значне збільшення жорсткості та зниження еластичності через втрату вологи протягом 2–4 діб. Зокрема, сила при 25 % деформації та коефіцієнт пружності зростають більш інтенсивно, що вказує на зміну структури. У зразків із пакуванням ці показники змінюються значно повільніше, що свідчить про ефективний захист упаковки від втрати вологи. Відносний гістерезис і енергія деформації при стиску зростають у всіх зразках, проте зберігаються на більш високому рівні у мафінів з упаковкою. У цілому, поліетиленова упаковка продовжує термін зберігання продукту, зберігаючи його якість та зменшуючи втрати еластичності.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

На багатьох підприємствах, на кондитерських фабриках у тому числі, виробництво пов'язане з частим впливом шкідливих умов на працівників. Шкідливі виробничі фактори на різних підприємствах мають різне походження. Шкідливі виробничі фактори поділяють на групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні (можна віднести важкі та напружені умови праці). Попри всі заходи, направлені на нейтралізацію шкідливого впливу факторів, неможливо створити ідеальні умови праці [60].

При виробництві мафінів можна зустріти такі шкідливі виробничі фактори:

- Виділення великої кількості пилу при переміщенні борошна, цукру-піску, розпушувачів тощо;
- Підвищений шум у деяких відділеннях;
- Значні тепловиділення в цехах, де проходить випікання мафінів тощо.

Наявність пилу на підприємствах кондитерської галузі небезпечна вибухонебезпечністю і при тривалому впливі може призвести до професійних захворювань. Наявність мокрих або жирних підлог у вологих цехах може призвести до падінь та синців. Небезпеку становлять обертові частини машин і механізмів, які необхідно захищати. Для попередження або зменшення впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, засобів індивідуального захисту застосовують установку огорож і їх блокування електродвигуном, вентиляційним пристроєм тощо, які повинні бути обрані з урахуванням конкретних вимог безпеки, для даного процесу або виду роботи.

Зниження вібрації та шуму на робочих місцях досягається низкою заходів: ослабленням вібрації і шуму в джерелі їх утворення конструктивними, технологічними й експлуатаційними рішеннями, штучне збільшення втрат енергії в системі (вібрація і звукопоглинання); зниження інтенсивності вібрацій і шуму на шляху їх поширення (вібро- і звукоізоляція); використання засобів індивідуального захисту [61].

Так як напрямом магістерського дослідження є кондитерська галузь, було

розроблено картку безпеки для операторів лінії з виробництва мафінів (рис. 4.1).

<p>1. Загальна інформація</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Місце роботи – лінія з виробництва мафінів. 2. Вид робіт – виробництво мафінів без наповнювачів. 3. Посада – оператор лінії. 4. Тривалість робочого часу – 2 зміни (07:00–18:30; 19:00–06:30). 5. Проходження медогляду – 1 раз на рік. 6. Проходження вторинного інструктажу з охорони праці – 1 раз на 6 місяців. 7. Термін дії картки: до 01.12.2029 р. 	<p>2. Забезпечення одягом та засобами індивідуального захисту</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Головний убір – 1 раз на рік. 2. Взуття шкіряне жаростійке – 1 раз на 6 місяців. 3. Нарукавники бавовняні – 1 раз на 3 місяці. 4. Рукавиці трикотажні, навушники протишумові, окуляри захисні – до зносу.
<p>3. Вимоги перед початком роботи</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. До роботи допускають осіб, які досягли 18-річного віку, пройшли медичне обстеження та не мають медичних протипоказань, вступний інструктаж, спеціальне навчання. 2. Робітник повинен одягнути спецодяг, підготувати робочу зону. 3. Перевірити роботу штучної вентиляції, справність та наявність захисних огорожень приводів робочих органів. 4. Перед запуском обладнання перевірити, що нікому не загрожує небезпека від рухомих частин і механізмів. 5. Перевірити роботу обладнання на холостому ходу. 6. Про виявлені порушення і недоліки доповісти безпосередньому керівнику і до їх усунення до роботи не приступати. 	<p>4. Вимоги під час роботи</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Робітнику дозволяється виконувати тільки ту роботу, за якою пройдено навчання, інструктаж з охорони праці, до якої допущений особою, відповідальною за безпечне проведення осіб 2. Необхідно утримувати своє робоче місце у належній чистоті, своєчасно прибирати з підлоги розлиті жири, розсипане борошно, тощо. 3. Необхідно застосовувати засоби захисту рук під час роботи з гарячими поверхнями. 4. Можна використовувати тільки справне устаткування, інструмент, пристосування. 5. Не дозволяється доручати свою роботу іншим особам, які не пройшли відповідне навчання та інструктаж.
<p>5. Вимоги після закінчення роботи</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Привести в порядок робоче місце, інструменти та пристосування прибрати у відведене місце. 2. Зняти і здати на збереження спецодяг і засоби індивідуального захисту. 3. Виконати правила особистої гігієни. 4. Про виявлені порушення і недоліки під час проведення робіт доповісти безпосередньому керівнику і змінному працівнику. 	<p>6. Вимоги в надзвичайних ситуаціях</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. негайно припинити всі роботи. 2. Вимкнути все обладнання; 3. Доповісти керівнику про виникнення надзвичайної ситуації.
<p>Контакти служб екстреної допомоги</p>	
<p>Внутрішні службові номери: Майстер відділення: 000-00-00 Служба охорони праці: 000-00-00 – головний інженер, 000-00-00 – медичний кабінет.</p>	

Рисунок 4.1 – Картка безпеки праці оператора лінії з виробництва мафінів

У процесі виготовлення мафінів утворюється значна кількість відходів та побічних продуктів – відходи від очищення сировини, залишки тіста, дефектні вироби тощо. Потрібно досліджувати питання правильної утилізації таких відходів, наприклад відходи від очищення сировини можна використовувати у енергетичній сфері, дефектні вироби можна направити на виробництво сухарів тощо.

Висновки за розділом

На більшості харчових підприємств виробництво пов'язане з частим впливом шкідливих умов на працівників, кондитерська галузь не є виключенням. Розроблено картку безпеки праці для оператора лінії з виробництва мафінів. Розглянуті варіанти відходів від виробництва мафінів і шляхи їх подальшої переробки.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виробництво мафінів, збагачених біологічно активною сировиною є перспективним на сьогодні, тому ми вирішили зосередити наші дослідження саме на розробці рецептури даного виду товару.

Перелік робіт при проведенні дослідження магістерської роботи з обґрунтування технології виробництва мафінів, збагачених конопляним протеїном наведена у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт	Назва робіт	Тривалість робіт, дні
0-0	Одержання завдання	0
0-1	Вступ	3
1-2	Огляд літературних джерел	8
2-3	Характеристика та методологія експериментальних досліджень	5
3-4	Експериментальна частина	9
4-5	Охорона праці та захист навколишнього середовища	2
4-6	Організаційно-економічна частина	2
5-7	Загальні висновки та пропозиції	1
6-8	Бібліографія	1
8-9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	5
	Всього	33

Отже, для того, щоб виконати всі поставлені завдання магістерської роботи, необхідно витратити 33 дні.

Витрати, пов'язані з проведенням дослідження визначали за допомогою кошторису витрат.

Витрати на основні та побічні матеріали розраховували за формулою (5.1):

$$m = \sum m_1 \cdot C_1, \quad (5.1)$$

де m_1 – кількість витраченого i -го матеріалу;

C_1 – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Необхідна кількість матеріалів та їх вартість

№ з/п	Найменування інгредієнту, одиниці	Ціна за одиницю, грн	Кількість	Сума, грн
1	Борошно пшеничне, кг	24,94	1,6	39,90
2	Молоко, л	43,56	1,3	56,63
3	Цукор-пісок, кг	32,90	1,2	39,48
4	Масло вершкове, кг	393,88	0,4	155,55
5	Яйця, шт	7,19	8	57,52
6	Розпушувач, кг	2150,00	0,06	129,00
7	Конопляний протеїн, кг	1312,00	0,35	459,20
			Всього	937,28

Результати розрахунку заробітної плати керівника наукового дослідження наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньочасовий заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Керівник кваліфікаційної роботи	13096,44	74,41	10	744,10
			Всього	744,10

Нарахування на заробітну плату приймали у розмірі 22 % від фонду робочого часу. Від загальної суми заробітної платні вони складають:

$$H = \frac{744,10 \cdot 22}{100} = 163,70 \text{ грн} \quad (5.2)$$

Затрати на витрачену електроенергію визначали за формулою (5.3):

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (5.3)$$

де M – потужність використаного електрообладнання, кВт;

K – коефіцієнт використання потужності, $K = 0,9$;

T – час роботи обладнання, год.;

a – тариф за електроенергію (за 1 кВт), грн./(кВт/год.);

$a = 7,32$ грн./(кВт/год.).

Під час приготування дослідних зразків мафінів були використані лабораторні ваги, варильна поверхня індукційна, духовка шафа, ноутбук.

Результати розрахунків витрат на електроенергію наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунків витрат на електроенергію

Обладнання	Потужність обладнання, кВт	Час роботи обладнання, год	Витрати на електроенергію, грн
Лабораторні ваги	0,012	2,0	0,16
Варильна поверхня індукційна	3,5	0,2	4,61
Шафа духовка	2,1	6,0	83,01
Ноутбук	0,02	60	7,91
Всього			95,69

Витрати на амортизацію обладнання знаходили за формулою (5.4):

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 365}, \quad (5.4)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн;

Φ – вартість обладнання, грн;

N – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на даному обладнанні, днів;

365 – кількість днів у році.

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Лабораторні ваги	11670,00	10	0,17	0,54
Варильна поверхня індукційна	4720,00	10	0,02	0,03
Шафа духова електрична	15300,00	15	0,5	3,14
Ноутбук	17450,00	25	5	59,76
Всього				63,47

Накладні витрати, що включають витрати пов'язані з обслуговуванням установки, приймаються рівними 80 % від розрахованої заробітної плати виконавців дослідження і становлять:

$$\frac{744,10 \cdot 80}{100} = 595,28 \text{ грн}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	937,28
Заробітна плата	744,10
Нарахування на заробітну плату	163,70
Електроенергія	95,69
Амортизація	63,47
Накладні витрати	595,28
Всього	2599,52

Найбільшими серед усіх видатків вийшли видатки на сировину для проведення досліджень – 937,28 грн, а також видатки на заробітну плату керівника (744,10 грн).

Вартість дослідження визначали за формулою (5.5):

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (5.5)$$

де Ц – вартість дослідження, грн;

С – витрати на дослідження, грн;

Р – нормативна рентабельність (Р=30), %.

$$Ц = 2599,52 + \frac{30 \cdot 2599,52}{100} = 3379,37 \text{ грн}$$

Видатки на проведені дослідження кваліфікаційної роботи становили 3379,37 грн.

Висновки за розділом

Згідно з результатами розрахунків, найбільші витрати за період дослідження склали 937,28 грн. на основні матеріали та 744,10 грн. на оплату праці. Загальна вартість дослідження становить 3379,37 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Насіння промислових конопель та продукти його переробки є перспективною сировиною для збагачення борошняних кондитерських виробів. Насіння конопель має цінний склад, на який можуть впливати різні чинники, у тому числі сортові особливості та регіон вирощування. Воно містить 25–35 % олії зі збалансованим складом жирних кислот, 20–25% білків, які легко засвоюються організмом людини і містять всі незамінні амінокислоти, 20–30 % вуглеводів, а також значну кількість мінеральних речовин, дефіцитних грубих харчових волокон, вітамінів, антиоксидантів та інших біологічно-активних речовин. Конопляний протеїн вживають як самостійний продукт, але мало де його використовують у якості збагачувача.

2. Форма всіх дослідних зразків мафінів відповідала формі, у якій проводили випікання, без надломів. Поверхня була не підгоріла, були наявні незначні тріщини, при чому чим більшим був вміст конопляної добавки, тим більше було тріщин на поверхні мафінів. Колір змінювався від світло-жовтого (контроль) до темно-коричневого, у міру збільшення конопляної добавки, колір ставав темнішим. Щодо виду у розломі всі дослідні зразки були добре пропечені, слідів непромісу не було виявлено. Смак і запах були характерні даному виробу із присмаком конопляної добавки, у міру додавання добавки смак і запах ставали більш виражені. Сторонніх присмаку та запаху не було виявлено. У результаті дегустаційної оцінки всі зразки отримали високі бали. Найменше балів було у зразка із найбільшим вмістом конопляної добавки (25 %). Найкращими із дослідних виявився контрольний зразок (без конопляної добавки) і зразок із найменшим вмістом конопляної добавки (12,5 %).

3. Збільшення вмісту конопляного протеїну в мафінах значно впливає на їхні реологічні та текстурні властивості. Встановлено, що зі збільшенням концентрації протеїну зменшуються твердість, пружність, когезивність та жувальність продукту, що свідчить про зниження структурної цілісності. Водночас при вмісті протеїну понад 25 % спостерігається суттєве підвищення липкості та адгезивності, що може бути пов'язано з

перенасиченням тіста білковими компонентами. Оптимальним рівнем додавання конопляного протеїну є 12,5–25 %, оскільки в цьому діапазоні зберігаються ключові текстурні властивості мафінів із мінімальним негативним впливом на якість продукту.

4. Дослідження зміни властивостей мафінів під час зберігання показали, що упаковка у поліетилен значно уповільнює процеси деградації текстури та зберігає еластичність продукту. Мафіни без пакування демонструють значне збільшення жорсткості та зниження еластичності через втрату вологи протягом 2–4 діб. Зокрема, сила при 25 % деформації та коефіцієнт пружності зростають більш інтенсивно, що вказує на зміну структури. У зразків із пакуванням ці показники змінюються значно повільніше, що свідчить про ефективний захист упаковки від втрати вологи. Відносний гістерезис і енергія деформації при стиску зростають у всіх зразках, проте зберігаються на більш високому рівні у мафінів з упаковкою. У цілому, поліетиленова упаковка продовжує термін зберігання продукту, зберігаючи його якість та зменшуючи втрати еластичності..

5. На більшості харчових підприємств виробництво пов'язане з частим впливом шкідливих умов на працівників, кондитерська галузь не є виключенням. Розроблено картку безпеки праці для оператора лінії з виробництва мафінів. Розглянуті варіанти відходів від виробництва мафінів і шляхи їх подальшої переробки.

6. Згідно з результатами розрахунків, найбільші витрати за період дослідження склали 937,28 грн. на основні матеріали та 744,10 грн. на оплату праці. Загальна вартість дослідження становить 3379,37 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Viskovic J.D., Zheljaskov V., Sikora V., Noller J., Latkovic D., M. Ocamb C., Koren A. Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Agronomy and Utilization: A Review. *Agronomy*. 2023. 13 (3). 931.
2. Головій О., Мохер Ю., Дудукова С. Історико-літературний нарис селекційних досліджень Інституту луб'яних культур НААН галузі коноплярства. Колективна монографія «Наукове забезпечення розвитку коноплярства у XXI ст.». 2024. С. 190–210.
3. An official website of the European Union: Farming. Crop productions and plant-based products, 2024: веб-сайт. URL: https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products_en.
4. Rehman M., Fahad Sh., Du G., Cheng X., Yang Ya., Tang K., Liu L., Liu F.-H., Deng G. Evaluation of hemp (*Cannabis sativa* L.) as an industrial crop: a review, *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. pp. 52832–52843.
5. Duque Schumacher A.G., Pequito S., Pazour J. Industrial hemp fiber: A sustainable and economical alternative to cotton. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 268. 122180.
6. Farinon B., Molinari R., Costantini L., Merendino N. The Seed of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional Quality and Potential Functionality for Human Health and Nutrition. *Nutrients*. 2020. Vol. 12 (7). 1935.
7. Mamadaliev A.N., Kushiev Kh., Atabaev S.M. Physico-chemical characteristics of cannabis seed oil (*Cannabis sativa* L.) from different varieties grown in the conditions of the Syrdarya region. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 463 (1). 01004.
8. Arango Sh., Kojić J., Perović L., Bailoni L. Chemical Characterization of 29 Industrial Hempseed (*Cannabis sativa* L.) Varieties. *Foods*. 2024. Vol. 13 (2). 210.
9. Oseyko M., Sova N., Chornei K. Substantiation of hemp seeds storage and processing technologies for functional, dietary and specialty products. Review, *Ukrainian Food Journal*. 2021. Vol. 10 (3). pp. 427–458.

10. Capcanari T.N., Covaliov E.F., Negoïța C.L. Hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds nutritional aspects and food production perspectives: A review. *Food systems*. 2024. Vol. 7 (1), pp. 52–58.
11. Oseyko M., Sova N., Yefimov V., Petrachenko D. Chemical composition of seeds of industrial Ukrainian hemp varieties. *Ukrainian Food Journal*. 2024. 13 (3). pp. 542–556.
12. Awuchi C.G., Igwe V.S., Amagwula O.I., Echeta C.K. Health Benefits of Micronutrients (Vitamins and Minerals) and their Associated Deficiency Diseases: A Systematic Review. *International Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 3 (1). pp. 1–32.
13. Quintaes K.D., Diez-Garcia R.W. The importance of minerals in the human diet, *Handbook of Mineral Elements in Food*, John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
14. Okereafor U., Makhatha M., Mekuto L., Uche-Okereafor N., Sebola T., Mavumengwana V. Toxic Metal Implications on Agricultural Soils, Plants, Animals, Aquatic life and Human Health. *International Journal Environmental Research Public Health*. 2020. Vol. 17 (7). 2204.
15. Vonapartis E., Aubin M.-P., Seguin Ph., Mustafa A.F., Charron J.-B. Seed composition of ten industrial hemp cultivars approved for production in Canada. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015. Vol. 39. pp. 8–12.
16. Lan Y., Zha F., Peckrul A., Hanson B., Johnson B., Rao J., Chen B. Genotype x Environmental Effects on Yielding Ability and Seed Chemical Composition of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Varieties Grown in North Dakota. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 2019. Vol. 96 (12), pp.1417–1425.
17. Irakli M., Tsaliki E., Kalivas A., Kleisiaris F., Sarrou E., Cook C.M. Effect of Genotype and Growing Year on the Nutritional, Phytochemical, and Antioxidant Properties of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seeds. *Antioxidants*. 2019. Vol. 8 (10). 491.
18. Xu Yo., Zhao J., Hu R., Wang D. Effect of genotype on the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of hempseed. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021. Vol. 3 (18). 100119.

19. Alonso-Esteban J.I., Pinela J., Ćirić A., Calhelha R.C., Sokovic M., Ferreira I.C.F.R., Barros L., Torija-Isasa E., Sánchez-Mata M.C. Chemical composition and biological activities of whole and dehulled hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds, *Food Chemistry*. 2022. Vol. 374. 131754.
20. Teleszko M., Zając A., Rusak T. Hemp Seeds of the Polish ‘Bialobrzeskie’ and ‘Henola’ Varieties (*Cannabis sativa* L. var. *sativa*) as Prospective Plant Sources for Food Production. *Molecules*. 2022. Vol. 27 (4). 1448.
21. Barcauskaitė K., Zydėlis R., Ruzgas R., Bakšinskaitė A., Tilvikienė V. The Seeds of Industrial Hemp (*Cannabis Sativa* L.) a Source of Minerals and Biologically Active Compounds. *Journal of Natural Fibers*. 2022. Vol. 19 (16). pp. 13025–13039.
22. Sheichenko V., Petrachenko D., Koropchenko S., Rogovskii I., Gorbenko O., Volianskyi M., Sheichenko D. Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 2 (1 (128)). pp. 34–48.
23. Сова Н.А., Луценко М.В., Єфімов В.Г., Кургалін С.М. Характеристика сипких конопляних продуктів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2018. Вип. 45 (1321). С. 207–213.
24. Pojić M., Mišan A., Sakač M., Darčević Hadnađev T., Šarić B., Milovanović I., Hadnađev M. Characterization of Byproducts Originating from Hemp Oil Processing, *Journal of Agriculture Food Chemistry*. 2014. Vol. 62 (51). pp. 12436–12442.
25. Stefan H.M., Gorissen S., Crombag J., Senden J. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Springer Open Choice*. 2018. Vol. 50 (12). pp. 1685–1695.
26. Zannoni C., Aiello G., Arnoldi A., Lammi C. Hempseed peptides exert hypocholesterolemic effects with a statin-like mechanism. *J. Agric. Food Chem.* 2017. Vol. 65. pp. 8829–8838.
27. Fountoulakis M., Lahm H.W. Hydrolysis and amino acid composition of proteins. *Journal of Chromatography A*. 2008. Vol. 826 (2). pp. 109–134.

28. James D, House J., Neufeld J., Leson G. Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the use of the protein digestibility-corrected amino acid score method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. Vol. 58 (22). pp. 118–125.
29. Wang X.-Sh., Tang Ch.-H., Yang X.-Q., Gao W.R. Nutritional assessment of Hemp (*Cannabis sativa* L.) Proteins. *Journal of agricultural and food*. 2018. Vol. 132. pp. 115–126.
30. Yin S.-W., Tang Ch.-H., Wen Q.-B., Yang X.-Q. Functional and structural properties and in vitro digestibility of acylated hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates. *Food Science+Technology*. 2009. Vol. 44 (12). pp. 2653–2661.
31. Malomo S.A., Rong H., Aluko R.E. Structural and Functional Properties of Hemp Seed Protein Products. *Journal of Food Science*. 2014. Vol. 79 (8). pp. 1512–1521.
32. Teh S.-S., Din A. E., Bekhit A., Carne A., Birch J. Antioxidant and ACE-inhibitory activities of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysates produced by the proteases AFP, HT, Pro-G, actinidin and zingibain. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 203. pp. 199–206.
33. Girgih A.T., Udenigwe C.C., Aluko, R.E. Reverse-phase HPLC separation of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2013. 68. pp. 39–46.
34. Mamone G., Picariello G., Ramondo A., Nicolai M.A., Ferranti P. Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates. *Food Research International*. 2019. Vol. 115. pp. 562–571.
35. Potin F., Saurel R. Hemp Seed as a Source of Food Proteins. *Sustainable Agriculture Reviews*. 2020. Vol. 42. pp 265–294.
36. Raikos V., Duthie G., Ranawana V. Denaturation and Oxidative Stability of Hemp Seed (*Cannabis sativa* L.) Protein Isolate as Affected by Heat Treatment. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2015. Vol. 70. pp. 304–309.
37. Fountoulakis M., Lahm H.W. Hydrolysis and amino acid composition of proteins. *Journal of Chromatography A*. 2008. Vol. 826 (2). pp. 109–134.

38. Сачко А.В., Дійчук В.В., Воробець М.М., Сема О.В. Інструментальні методи аналізу харчової продукції: навчально-методичний посібник. Чернівці: Чернівець. нац. унт ім. Ю. Федьковича, 2020. 80 с.
39. Черевко О.І., Крайнюк Л.М., Касілова Л.О. Методи контролю якості харчової продукції: навчальний посібник. Суми: Університетська книга. 2019, 512 с.
40. Левіт І.Б., Сукманов В.О., Афенченко Д.С. Реологія харчових продуктів: підручник. Донецьк: ДонНУЕТ. 2014. 559 с.
41. Горальчук А.Б., Пивоваров П.П., Гринченко О.О., Погожих М.І., Полевич В.В., Гурський П.В. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик: Навчальний посібник. Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. Харків, 2006. 63 с.
42. Алієв, Е. Б., Миколенко, С. Ю., Сова, Н. А. та ін. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛІРА. 2022. 192 с. ISBN 978-966-981-687-0.
43. Mykolenko S., Aliieva O., Aliiev E., Pivovarov O. Technological and nutritional benefits of amaranth groats in breadmaking. *Scientific Horizons*, 2022. 25(11), P. 63–73.
44. Mykolenko S.Yr., Aliiev E.B., Dudin V.Yr. Composite wheat-amaranth flour baking properties and bread freshness. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. International Scientific and Theoretical Conference "Modeling and Computer Engineering in Mechanical Engineering: Theory, Practice, and Innovation" (MCEME-2022)*. 1277 012021.
45. Алієв Е.Б., Миколенко С.Ю., Дудін В.Ю. Патент України на корисну модель 151728, МПК (2006) G01N 3/44 (2006.01), G01N 19/00, G01B 3/00. Пристрій для автоматичного визначення структурно-механічних властивостей харчових мас. Заявник: Дніпровський державний аграрно-економічний університет, №u202106596. Заявл. 08.09.2022. Опубл. 07.09.2022, бюл. №36

46. Overview of TPA. URL: <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#overview>
47. Texture Profile Analysis. URL: <https://cdn.thomasnet.com/ccp/00391115/243844.pdf>
48. What is texture analysis? URL: <http://www.huntercaprez.com/view/data/3906/Brookfield/Texture.pdf>
49. Peleg M. Texture Profile Analysis Parameters Obtained By An Instron Universal Testing Machine. *Journal of Food Science* 41.3. 1976.
50. Bolanle O., Aina J., Abbey L., Sakyi-Dawson E., Bokanga M., Asiedu R. Texture Profile Analysis Applied To Pounded Yam. *Journal of Texture Studies* 38.3. 2007.
51. Кисельов О.В., Комарова І.Б., Мілько Д.О., Бакарджиєв Р.О. Статистична обробка і оформлення результатів експериментальних досліджень (із досвіду написання дисертаційних робіт): навч. посіб.; за заг. ред. Д. О. Мілька. Інститут механізації тваринництва НААН. Запоріжжя: СТАТУС. 2017. 1181 с.
52. Shumway R.H., Stoffer D.S. Time series analyses and its applications: With R examples. 3-rd ed. New York: Springer. 2011. 596 p.
53. Everitt B., Hothorn T. A handbook of statistical analyses using R. 2-nd ed. Chapman and HALL/CRC. 2009. 376 p.
54. Вашків П.Г., Пастер П.І., Сторожук В.П., Ткач Є.І. Теорія статистики: навч. посіб. Київ: Либідь. 2001. 320 с.
55. Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О.І., Усов А.В. Моделювання та оптимізація систем: підручник. Вінниця: ПП «ТДЕдельвейс». 2017. 804 с. ISBN 978-617-7237-23-4.
56. Царенко О.М., Злобін Ю.А., Скляр В.Г., Панченко С.М. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології: навч. посіб. Суми: Університетська книга. 2000. 203 с.
57. Ушкаренко Е.О., Нікішенко В.Л., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: навч. посіб. Херсон: Айлант. 2008. 272 с.

58. Ушкаренко Е.О., Вожегова Р.А, Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві: монографія. Херсон: Айлант. 2013. 378 с.

59. Алієв Е.Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва: підручник. Київ: Аграрна наука. 2023. 340 с. ISBN 978-966-540-584-9. DOI: 10.31073/978-966-540-584-9.

60. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів. *Охорона праці і пожежна безпека* : веб-сайт. URL: <https://oppb.com.ua/articles/klasyfikaciya-nebezpechnyh-i-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv> (дата звернення: 06.12.2024).

61. Bakhridinova N.M. Harmful Production Factors and Safety Regulations in the Food Industry. *The Peerian Journal*. 2022. Vol. 6. P. 111–115.