

**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 «Бакалавр»
на тему:

**Обґрунтування технології переробки макухи з
насіння льону**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-1-22
освітньо-професійної програми «Харчові
технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____Ілля ЛАНТРАТ

Керівник: _____Олег ТЕРТИШНИЙ

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
_____ Віталій КОШУЛЬКО
«__» _____ 2026 р.

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

Лантрату Іллі Юрійовичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології переробки макухи з насіння льону».
Керівник роботи: Тертишний Олег Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» травня 2026 року №875.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 15 червня 2026 року.
3. Вихідні дані до роботи: 1. Літературні джерела та періодичні видання. 2. Наукова та науково-технічна документація, що стосується переробки насіння льону олійного.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1. Оглядовий розділ. 2. Дослідницько-аналітичний розділ. 3. Експериментальний розділ. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Організаційно-економічний розділ. Загальні висновки і пропозиції. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

- 1) Об'єкт, предмет та мета дослідження. 2) Характеристика насіння льону олійного.
- 3) Прилади і обладнання, використані в дослідженні. 4) Схема одержання фракцій подрібненої макухи з насіння льону. 5) Результати експериментальних досліджень.
- 6) Картка безпеки праці оператора лінії з виробництва лляних сипких продуктів.
- 7) Організаційно-економічний розділ. 8) Загальні висновки і пропозиції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 5	Доцент ТЕРТИШНИЙ Олег	01.05.26	15.06.2026

7. Дата видачі завдання 01 травня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05-03.05.2026	
2	Оглядний розділ	04.05-17.05.2026	
3	Дослідницько-аналітичний розділ	18.05-20.05.2026	
4	Експериментальний розділ	21.05-31.05.2026	
5	Охорона праці та захист навколишнього середовища	01.06-03.06.2026	
6	Організаційно-економічний розділ	04.06-07.06.2026	
7	Загальні висновки і пропозиції, бібліографія	08.06-10.06.2026	
8	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	11.06-14.06.2026	

Здобувач вищої освіти _____ Ілля ЛАНТРАТ
(підпис)

Керівник роботи _____ Олег ТЕРТИШНИЙ

РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування технології переробки макухи з насіння льону».

Кваліфікаційна робота бакалавра: 60 с., 4 рисунки та ілюстрацій, 8 таблиць, 32 літературних джерела.

Об'єкт дослідження – макуха, отримана з насіння льону олійного сорту Водограй, та технологічні аспекти її подальшої переробки.

Предмет дослідження – фізико-хімічні характеристики окремих фракцій подрібненої макухи з насіння льону олійного.

Мета роботи – дослідити фізико-хімічні показники якості різних фракцій макухи з насіння льону олійного після подрібнення та на основі отриманих результатів розробити рекомендації щодо напрямів її ефективного використання у харчовій промисловості.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовано комплекс сучасних методів дослідження. Масову частку вологи насіння льону олійного, вихідної макухи та отриманих фракцій визначали методом висушування зразків за температури 105 °С до досягнення сталої маси з використанням вагів-вологоміра «Radwag MA 110 R». Подрібнення макухи здійснювали на лабораторному млині «НС-1000У», після чого отриманий матеріал розділяли на три фракції за допомогою лабораторного розсійника. Колірні характеристики фракцій визначали у системі CIE Lab* із використанням портативного колориметра «Linshang LS173». Для встановлення залишкового вмісту олії застосовували метод екстракції в апараті Сокслета, а вміст протеїну визначали методом К'ельдаля.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню та науковому обґрунтуванню технології переробки макухи з насіння льону олійного. Актуальність роботи обумовлена необхідністю впровадження ресурсозберігаючих і безвідходних технологій, спрямованих на комплексну переробку рослинної сировини та створення продукції з високою доданою вартістю. Макуху з насіння льону олійного піддавали подрібненню та подальшому фракціонуванню, у результаті чого було отримано три фракції, що відрізнялися гранулометричним складом та фізико-хімічними властивостями. Визначено вихід, кольорові характеристики в системі CIE Lab, масову частку вологи, протеїну, жиру, клітковини та зольних речовин кожної фракції. Проведено розрахунок поживної та енергетичної цінності дослідних зразків. Встановлено, що фракція середнього помелу може бути використана як борошніста сировина для виробництва харчових продуктів, крупна фракція є перспективним джерелом харчових волокон, а дрібнодисперсна характеризується підвищеним вмістом білка та олії і може розглядатися як білково-ліпідний концентрат.*

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАСІННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО, МАКУХА, ПОДРІБНЕННЯ, ФРАКЦІОНУВАННЯ, БІЛКОВИЙ КОНЦЕНТРАТ, БОРОШНО, КЛІТКОВИНА.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ	8
1.1. Насіння льону – перспективна нішева сировина для харчової промисловості.....	8
1.2 Характеристика продуктів переробки насіння льону олійного та їх використання у харчовій промисловості.....	10
Висновки до розділу	13
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	14
Висновки до розділу	19
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	20
Висновки до розділу	32
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА...	35
4.1 Основні положення охорони праці при переробці лляної макухи	35
4.2 Розробка картки безпеки праці при переробці макухи з насіння льону	38
4.3 Правила безпеки при роботі з відходами при переробці макухи з насіння льону	38
Висновки до розділу	41
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	42
Висновки до розділу	48
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	50
БІБЛІОГРАФІЯ	54
ДОДАТКИ.....	58
ДОДАТОК А.....	59

ВСТУП

Сучасний розвиток харчової промисловості орієнтований на впровадження ресурсозберігаючих, екологічно безпечних та безвідходних технологій, які забезпечують максимально повне використання сільськогосподарської сировини та підвищення ефективності виробництва. Одним із перспективних напрямів реалізації цих завдань є комплексна переробка насіння льону олійного, яке належить до стратегічно важливих нішевих культур та характеризується високою поживною, біологічною та економічною цінністю. У останні роки спостерігається зростання обсягів вирощування льону олійного в Україні, що обумовлено стабільним попитом на насіння та продукти його переробки як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Разом із виробництвом лляної олії збільшуються обсяги утворення макухи, яка залишається після пресування насіння і часто використовується переважно як кормова сировина, хоча її потенціал є значно ширшим.

Лляна макуха являє собою цінний вторинний продукт переробки, який містить значну кількість поживних та біологічно активних речовин. У її складі зберігаються білки, харчові волокна, мінеральні речовини, вітаміни, фенольні сполуки, лігнани та залишкова кількість олії. Залежно від технології пресування вміст залишкової олії може становити від 8 до 20 %, що забезпечує високу енергетичну цінність продукту. Особливу увагу привертає наявність у макусі поліненасичених жирних кислот, насамперед α -ліноленової кислоти родини ω -3, яка відіграє важливу роль у профілактиці серцево-судинних захворювань та підтриманні нормального функціонування організму людини. Крім того, лляна макуха є джерелом рослинного білка з достатньо збалансованим амінокислотним складом та значною кількістю харчових волокон, що обумовлює її функціональні властивості.

Актуальність досліджень у сфері переробки лляної макухи значною мірою пов'язана зі світовою тенденцією до збільшення споживання

функціональних харчових продуктів та інгредієнтів рослинного походження. Сучасний споживач все більше уваги приділяє продуктам, які не лише забезпечують організм енергією, а й сприяють профілактиці захворювань та підтриманню здоров'я. У зв'язку з цим особливого значення набувають натуральні білкові продукти, харчові волокна, джерела антиоксидантів та ω -3 жирних кислот, які можуть бути отримані саме з лляної макухи. Її використання дозволяє створювати нові види борошна, білкових концентратів, клітковини, сухих сумішей та інших функціональних інгредієнтів для хлібопекарської, кондитерської, молочної, м'ясної та харчоконцентратної галузей.

Перспективним напрямом є також застосування технологій подрібнення та фракціонування макухи. Розподіл продукту на окремі фракції дає можливість отримувати інгредієнти з різним співвідношенням білка, жиру та клітковини, що дозволяє цілеспрямовано використовувати їх залежно від технологічного призначення. Наприклад, крупні фракції можуть виступати джерелом харчових волокон, середні – використовуватися як борошниста сировина, а дрібнодисперсні – як білково-ліпідні концентрати для виробництва функціональних та спеціалізованих харчових продуктів.

Важливе значення має і економічний аспект переробки лляної макухи. Використання побічних продуктів олієжирової галузі дозволяє підвищити ефективність використання сировини, збільшити вихід товарної продукції та сформувати додаткові джерела прибутку для підприємств. При цьому витрати на отримання продуктів із макухи є значно нижчими порівняно з виробництвом аналогічних інгредієнтів із первинної сировини.

Не менш важливим є екологічний аспект проблеми. Раціональне використання лляної макухи відповідає принципам циркулярної економіки, згідно з якими побічні продукти одного виробництва повинні максимально залучатися до створення нової продукції. Це дозволяє скоротити обсяги відходів, знизити екологічне навантаження на довкілля та забезпечити більш ефективне використання природних ресурсів. Такий підхід повністю

відповідає сучасним вимогам сталого розвитку агропромислового комплексу та харчової промисловості.

Таким чином, переробка макухи, отриманої після виробництва лляної олії, є актуальним науковим та практичним напрямом досліджень. Її реалізація дозволяє раціонально використовувати вторинну сировину, створювати нові функціональні харчові інгредієнти з високою поживною та біологічною цінністю, підвищувати економічну ефективність виробництва та сприяти впровадженню принципів сталого розвитку у харчовій промисловості.

Об'єкт дослідження – макуха, отримана з насіння льону олійного сорту Водограй, та технологічні аспекти її подальшої переробки.

Предмет дослідження – фізико-хімічні характеристики окремих фракцій подрібненої лляної макухи.

Мета роботи – дослідити фізико-хімічні показники якості різних фракцій лляної макухи після подрібнення та на основі отриманих результатів розробити рекомендації щодо напрямів її ефективного використання у харчовій промисловості.

Завдання наукових досліджень: дослідити якість вихідної сировини – насіння льону олійного та макухи з нього; здійснити подрібнення макухи, одержаної після видобування олії з насіння льону олійного сорту Водограй, та провести її фракціонування за розміром частинок із визначенням виходу кожної фракції; дослідити кольорові характеристики та визначити масову частку вологи, протеїну, олії, клітковини і зольних речовин у різних фракціях подрібненої макухи, оцінити поживну та енергетичну цінність отриманих фракцій і провести їх порівняльний аналіз із промисловими аналогами сипких продуктів, виготовлених із насіння льону; на основі отриманих результатів розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо напрямів переробки та використання макухи з насіння льону олійного у харчовій промисловості.

1 ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ

1.1. Насіння льону – перспективна нішева сировина для харчової промисловості

Льон культурний (*Linum usitatissimum* L.) належить до групи луб'яних культур і вважається однією з найдавніших рослин, які використовуються людиною в господарській діяльності. Археологічні знахідки свідчать, що льон вирощували ще 3–4 тисячі років до нашої ери на території Індії, Китаю, Єгипту та Закавказзя. Значного поширення культура набула і серед слов'янських народів, які здавна володіли технологіями її вирощування та переробки. На території України льон почали культивувати приблизно з VI століття нашої ери [1].

Незважаючи на тривалу історію вирощування, льон олійний в Україні й сьогодні відносять до нішевих сільськогосподарських культур. Обсяги його виробництва залежать від ринкової кон'юнктури, погодних умов та економічної привабливості культури. Разом з тим починаючи з 2020 р. спостерігається тенденція до поступового розширення площ посівів льону олійного. Вагомим чинником цього процесу є стабільний попит з боку європейських країн, які виступають основними споживачами української продукції. У 2024–2025 маркетинговому році зафіксовано відновлення врожайності культури та збільшення валового збору насіння до понад 66 тис. т, що є найкращим показником за останні роки. Це свідчить про поступове зміцнення позицій льону олійного в структурі посівних площ та зростання його значення для розвитку малих та середніх аграрних підприємств [2].

За інформацією Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), загальна площа посівів льону олійного у світі становить близько 3,5 млн га, причому понад 70 % усіх посівів льону припадає саме на олійні форми культури [3].

Серед основних різновидів культурного льону найбільшого поширення набули льон-довгунець, який використовують переважно для виробництва волокна, та льон-кудряш, основним напрямом використання якого є отримання олії.

За ботанічною характеристикою льон є однорічною трав'янистою рослиною. Його плід являє собою кулясту п'ятигнізду коробочку, у якій формується до десяти насінин. Насіння має сплюснуту яйцеподібну форму, гладеньку блискучу поверхню та характерне забарвлення від жовтого до темно-коричневого кольору. Розміри, маса та колір насіння визначаються сортовими особливостями, хоча на їх формування істотно впливають і умови вирощування культури.

Будова насіння льону характеризується наявністю багат шарової оболонки, ендосперму та зародка. Особливістю оболонки є присутність слизоутворюючих клітин, які при контакті з водою набухають та виділяють значну кількість полісахаридного слизу. Ендосперм містить основні запаси білків та жирів, необхідних для розвитку зародка, що обумовлює високу поживну цінність насіння [4].

Наукові дослідження підтверджують, що насіння льону є унікальною сировиною завдяки високому вмісту олії (35–45 %), білків (20–33 %), вуглеводів (12–26 %), слизових полісахаридів та інших біологічно активних речовин. Особливу цінність становить лляна олія, яка характеризується значною кількістю поліненасичених жирних кислот, насамперед α -ліноленової кислоти родини ω -3. Крім того, насіння є джерелом харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин та природних антиоксидантів, що визначає його важливе значення для виробництва функціональних та оздоровчих харчових продуктів [5–12].

Сучасні наукові дані свідчать, що регулярне включення продуктів переробки насіння льону до раціону харчування сприяє покращенню показників серцево-судинної системи, нормалізації ліпідного обміну, зниженню артеріального тиску та проявляє антиоксидантну та протизапальну

дію. Завдяки цьому насіння льону розглядають як перспективну сировину для виробництва продуктів функціонального та профілактичного призначення [11–14].

1.2 Характеристика продуктів переробки насіння льону олійного та їх використання у харчовій промисловості

Насіння льону олійного є багатофункціональною сировиною, що знаходить широке застосування у харчовій, кормовій, медичній та технічній галузях. Комплексна переробка насіння дозволяє отримувати різноманітну продукцію, серед якої лляна олія, борошно, білкові концентрати, слизові екстракти, макуха, висівки та інші цінні функціональні інгредієнти. Завдяки високому рівню використання всіх складових насіння льон розглядають як перспективний об'єкт безвідходної переробки, що відповідає сучасним принципам ресурсозбереження та сталого розвитку [15].

Провідним продуктом переробки насіння льону є лляна олія, яка відзначається значним вмістом поліненасичених жирних кислот, насамперед ω -3 та ω -6, а також комплексу біологічно активних сполук, серед яких токофероли, фітостероли та сквален. Завдяки своїм харчовим і лікувально-профілактичним властивостям її широко використовують у виробництві харчових продуктів та дієтичному харчуванні [16]. Крім того, лляна олія є важливою сировиною для технічних галузей промисловості, де її застосовують у виробництві лакофарбових матеріалів, оліфи, лінолеуму та інших виробів [17].

Результати численних наукових досліджень свідчать, що якісний і кількісний склад лляної олії залежить від низки факторів, зокрема генетичних особливостей сорту, ґрунтово-кліматичних умов вирощування, ступеня стиглості насіння, а також технології її одержання. Істотний вплив на властивості олії мають способи переробки сировини, температурні режими,

параметри пресування та умови очищення, які визначають вихід готового продукту та рівень збереження його біологічно активних компонентів.

Побічними продуктами процесу видобування олії є макуха та шрот, які містять значну кількість протеїну та традиційно застосовуються у годівлі сільськогосподарських тварин [9, 18]. Нині їх також розглядають як перспективну сировину для виробництва харчового борошна з насіння льону, білкових концентратів та висівок, які можна використовувати при виробництві різних харчових продуктів, зокрема оздоровчого призначення.

Ряд наукових праць направлені на дослідження доцільності використання лляного борошна при виробництві хлібобулочних та борошняних кондитерських виробів. Наукові праці в цій галузі зосереджені на трьох аспектах: підвищенні біологічної цінності (ω -3, клітковина, лігнани), впливі на формування клейковинного каркаса та подовженні свіжості хліба та виробів. Так, дослідження показали, що заміна частини пшеничного борошна лляним у кількості 5–20 % впливає на реологічні властивості тіста: підвищується його водопоглинальна здатність і час розвитку, проте зменшуються стабільність та розтяжність. Незважаючи на деяке погіршення окремих технологічних показників, питомий об'єм готового хліба та органолептичні показники якості залишаються на рівні контрольного зразка [19]. У роботі [20] проаналізовано вплив лляного борошна на поліфеноли, антиоксидантну активність хліба та органолептичні властивості навіть при дозуванні до 30 %. А в роботі [21] авторами доведено, що внесення шроту льону до 5 % замість пшеничного борошна покращує склад рідкої фази тіста, інтенсифікуючи бродіння, при цьому знижуючи розпливання напівфабрикатів. Також доведена можливість використання в рецептурі хліба урбечу з насіння льону [22]. Дослідження роботи [23] показало, що хліб на заквасці з додаванням 7,5 % лляної макухи є оптимальною рецептурою для створення функціональних продуктів, що забезпечують покращений харчовий профіль.

Досліджено вплив заміни 20–50 % пшеничного борошна на лляне у рецептурі пісочно-нарізного печива. Встановлено, що додавання лляного борошна не погіршує органолептичні показники, а максимальна заміна (50 %) забезпечує високу якість готових виробів при незначній зміні кольору на сіро-коричневий та появі тріщин на поверхні [24]. Розроблено рецептури кексів, збагачених борошном із насіння нішевих культур, для підвищення їхньої поживної цінності порівняно з традиційним кексом «Столичний» [25].

Розглядається можливість використання лляного борошна для безглютенових вареників, що складаються із суміші 80 % борошна зеленої гречки та 20 % лляного борошна. За результатами авторів, вироби відзначаються високою поживною цінністю та покращеними органолептичними показниками порівняно з пшеничними аналогами [26].

Використання продуктів переробки насіння льону (олії, слизу, борошна та шроту) у рецептурах майонезів, соусів та емульсійних продуктів активно досліджується як для збагачення їх ω -3 жирними кислотами, так і для створення веганських замінників яєчного жовтка (завдяки високим емульгуючим властивостям лляного слизу [27–29]).

З метою оптимізації жирнокислотного складу та збагачення нутрієнтами продуктів, перспективним напрямком у м'ясній індустрії є використання лляного борошна. Дослідженнями [30] встановлено суттєві переваги лляного борошна за його фізико-хімічними властивостями; зокрема, обґрунтовано раціональність заміни до 15 % м'ясної сировини цією добавкою у складі паштетів. Водночас перспективним визначено поєднання кукурудзяного борошна з лляним, що дозволяє одночасно підвищити вміст білка та полісахаридів у готових виробах. Паралельно з цим, у роботі [31] науково обґрунтовано технологію м'ясних фаршевих виробів із птиці з комплексним додаванням лляного борошна, овочевих пюре та сироваткового концентрату. Отримані оптимізовані вироби мають вищі органолептичні показники, покращену волого- й жирутримуючу здатність фаршу, а також повністю відповідають чинним нормам мікробіологічної безпеки.

Висновки до розділу

Аналіз літературних джерел показав, що насіння льону олійного є перспективною нішевою культурою, яка поєднує високу господарську цінність із значним потенціалом для використання у харчовій промисловості. Зростання попиту на продукцію переробки льону на світовому та вітчизняному ринках сприяє розширенню площ його вирощування та підвищенню економічної привабливості культури. Завдяки високому вмісту олії, білка, харчових волокон, слизових полісахаридів, вітамінів, мінеральних речовин та антиоксидантів насіння льону є цінною сировиною для виробництва функціональних та оздоровчих харчових продуктів.

Встановлено, що комплексна переробка насіння льону дозволяє отримувати широкий спектр продукції, серед якої найбільше значення мають лляна олія, борошно, макуха, шрот, білкові концентрати та інші функціональні інгредієнти. Особливу увагу в останні роки приділяють побічним продуктам олієвиробництва, зокрема макусі та шроту, які характеризуються високим вмістом білка, клітковини та залишкової кількості біологічно цінної олії.

Аналіз результатів наукових досліджень свідчить про значні перспективи використання продуктів переробки насіння льону у технологіях хлібобулочних, борошняних кондитерських, безглютенкових, емульсійних та м'ясних виробів. Їх застосування сприяє підвищенню поживної та біологічної цінності продукції, покращенню її функціональних властивостей та розширенню асортименту продуктів оздоровчого призначення.

Водночас встановлено, що питання раціонального використання макухи, отриманої після видобування лляної олії, потребує подальших досліджень. Значний вміст у ній протеїну, клітковини та залишкової олії свідчить про доцільність її подрібнення, фракціонування та подальшого використання як сировини для виробництва нових сипких продуктів харчового призначення. Тому дослідження фізико-хімічних показників різних фракцій лляної макухи є актуальним науковим і практичним завданням, спрямованим на підвищення ефективності комплексної переробки насіння льону олійного та створення продуктів з високою доданою вартістю.

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

В умовах розвитку концепції сталого виробництва та циркулярної економіки особливої актуальності набуває питання комплексної переробки сільськогосподарської сировини та максимального використання побічних продуктів харчових виробництв. Одним із таких продуктів є макуха, що утворюється після видобування олії з насіння льону олійного. Враховуючи зростання обсягів вирощування льону олійного в Україні та збільшення виробництва лляної олії, щороку утворюються значні обсяги макухи, яку часто використовують переважно як кормову сировину, хоча вона має значно ширший потенціал застосування.

Лляна макуха характеризується високим вмістом протеїну, харчових волокон, залишкової кількості цінної олії, мінеральних речовин та біологічно активних сполук. У її складі зберігаються лігнани, полісахариди, антиоксиданти та незамінні жирні кислоти, які можуть бути використані для створення харчових продуктів функціонального призначення. За вмістом поживних речовин лляна макуха є цінною вторинною сировиною, потенціал якої в Україні наразі використовують недостатньо.

Особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на подрібнення та фракціонування макухи з подальшим виділенням фракцій із різним вмістом білка, жиру та клітковини. Такий підхід дозволяє отримувати спеціалізовані сипкі продукти, які можна використовувати як інгредієнти у виробництві хлібобулочних, кондитерських, м'ясних, молочних виробів та інших харчових продуктів. Це сприяє розширенню асортименту функціональних харчових продуктів та підвищенню їхньої біологічної цінності.

Для України зазначений напрям має не лише наукове, а й вагомое економічне значення. Раціональне використання макухи дозволяє підвищити ефективність переробки насіння льону олійного, збільшити вихід товарної продукції, створити нові види харчових інгредієнтів та знизити кількість

відходів виробництва. Крім того, розвиток технологій переробки лляної макухи сприятиме імпортозаміщенню окремих білкових та харчових добавок, а також підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної харчової промисловості.

Таким чином, дослідження фізико-хімічних властивостей макухи із насіння льону олійного та розроблення ефективних способів її переробки є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на створення нових функціональних інгредієнтів, підвищення економічної ефективності підприємств олійно-жирової галузі та забезпечення більш повного використання потенціалу вітчизняної рослинної сировини.

У межах тематики «Обґрунтування технології переробки макухи з насіння льону» визначено наступні завдання дослідження:

- дослідити якість вихідної сировини – насіння льону олійного та макухи з нього;
- здійснити подрібнення макухи, одержаної після видобування олії з насіння льону олійного сорту Водограй, та провести її фракціонування за розміром частинок із визначенням виходу кожної фракції;
- дослідити кольорові характеристики та визначити масову частку вологи, протеїну, олії, клітковини і зольних речовин у різних фракціях подрібненої макухи, оцінити поживну та енергетичну цінність отриманих фракцій і провести їх порівняльний аналіз із промисловими аналогами сипких продуктів, виготовлених із насіння льону;
- на основі отриманих результатів розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо напрямів переробки та використання макухи з насіння льону олійного у харчовій промисловості.

Перед початком експериментальних досліджень проводили оцінку якості вихідної сировини – насіння льону олійного сорту Водограй та макухи, отриманої після видобування з нього олії методом пресування. Дослідження виконували відповідно до загальноприйнятих стандартних методик.

Масову частку вологи у насінні та макусі визначали методом висушування наважки до сталої маси за температури 105 ± 2 °C із використанням вагів-вологоміра «Radwag MA 110 R». Вміст олії встановлювали методом екстракції в апараті Сокслета. Масову частку протеїну визначали методом К'ельдаля, а зольність – шляхом озолення зразків у муфельній печі.

Дослідні зразки отримували шляхом подрібнення макухи з насіння льону олійного на лабораторному млині «НС-1000У». Подрібнення здійснювали протягом 30 с за швидкості обертання робочого органа 32000 об/хв. Перед кожним дослідом обладнання ретельно очищали від залишків попередньої сировини для запобігання впливу сторонніх домішок на результати аналізу.

Отриману після подрібнення макуху фракціонували на лабораторному розсійнику шляхом просіювання протягом 3 хв за частоти обертання 120 об/хв. Для розділення використовували лабораторні сита з розмірами отворів 0,56 та 0,20 мм. За результатами просіювання отримували три фракції: сід із сита 0,56 мм (зразок №1), сід із сита 0,20 мм (зразок №2) та прохід через сито 0,20 мм (зразок №3). Для кожної фракції визначали вихід. Усі експерименти проводили у трикратній повторності.

Кольорові характеристики отриманих фракцій визначали у системі CIE Lab* за допомогою портативного колориметра «Linshang LS173». Масову частку вологи в експериментальних зразках визначали за методикою, аналогічною до тієї, що застосовували для аналізу вихідної сировини.

Обладнання, використане в дослідженні і схема отримання дослідних зразків подрібненої макухи приведені на рис. 2.1 та 2.2.

• — ОБЛАДНАННЯ, ВИКОРИСТАНЕ У ДОСЛІДЖЕННІ — •



Рисунок 2.1 – Обладнання, використане в дослідженні*

Примітка: *Схему згенеровано за допомогою засобів штучного інтелекту відповідно до даних, наданих автором.

СХЕМА ОДЕРЖАННЯ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ ПОДРІБНЕНОЇ ЛЛЯНОЇ МАКУХИ

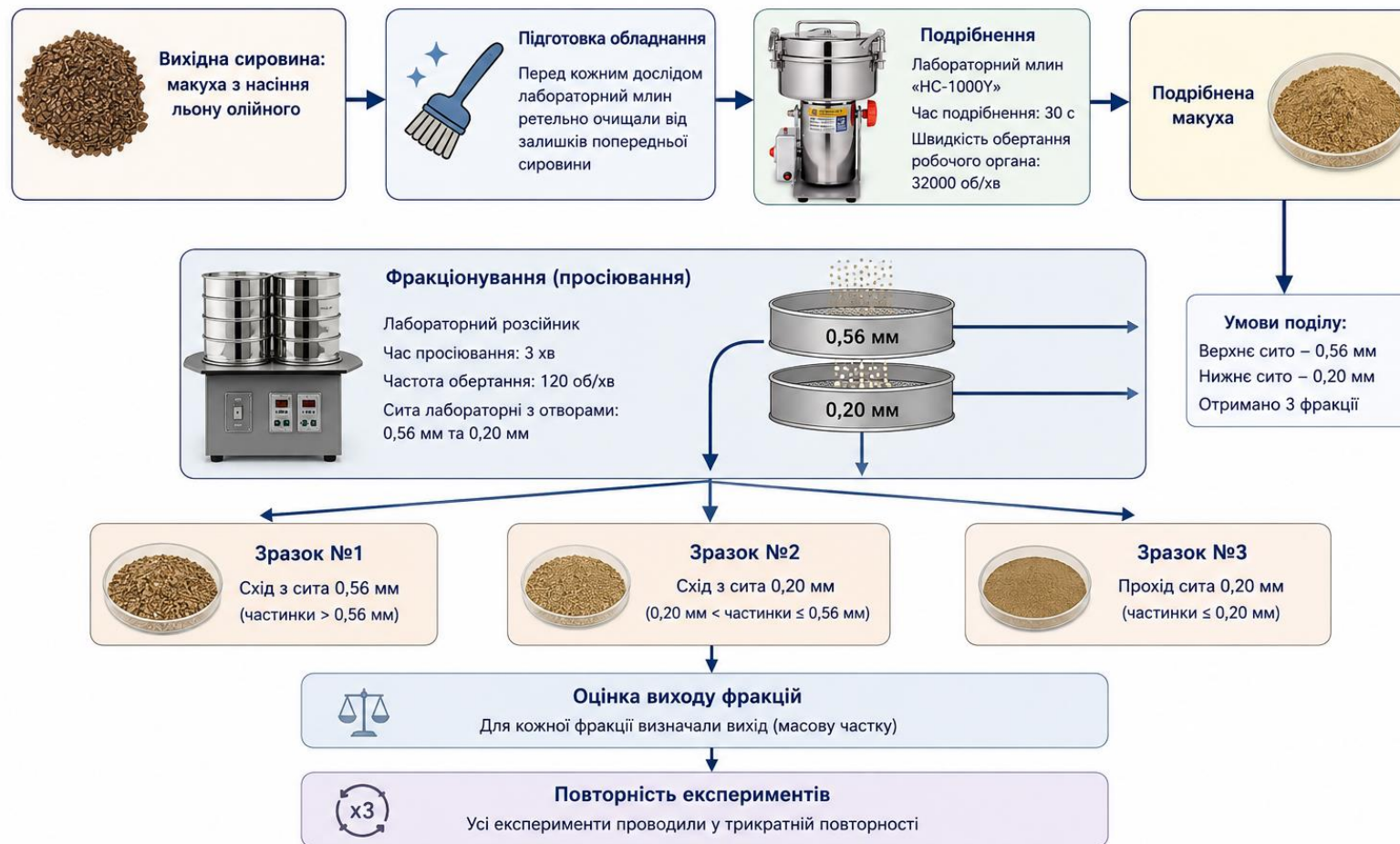


Рисунок 2.2 – Схема проведення досліджень кваліфікаційної роботи*

Примітка: *Схему згенеровано за допомогою засобів штучного інтелекту відповідно до даних, наданих автором.

Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу встановлено, що переробка макухи з насіння льону олійного є перспективним напрямом підвищення ефективності використання вторинної сировини олієжирової галузі. Високий вміст протеїну, харчових волокон, залишкової олії та інших біологічно активних компонентів обумовлює доцільність її подальшої переробки з метою одержання функціональних харчових інгредієнтів. На підставі аналізу наукових джерел визначено основні завдання дослідження, спрямовані на оцінку якості вихідної сировини, подрібнення та фракціонування лляної макухи, вивчення фізико-хімічних характеристик отриманих фракцій, а також розроблення рекомендацій щодо їх практичного використання у харчовій промисловості.

Для виконання поставлених завдань обґрунтовано та сформовано комплекс методів дослідження, що включав визначення масової частки вологи, олії, протеїну та золи, подрібнення макухи на лабораторному млині, її фракціонування на лабораторному розсійнику, а також визначення кольорових характеристик у системі CIE Lab*. Застосовані методики забезпечують отримання достовірних даних щодо складу та властивостей досліджуваних зразків. Розроблено схему проведення експериментальних досліджень та одержання дослідних зразків подрібненої макухи з насіння льону олійного.

Отже, у розділі сформовано методичну основу дослідження, обґрунтовано вибір обладнання, методів аналізу та технологічних операцій, необхідних для подальшого вивчення властивостей різних фракцій подрібненої лляної макухи та визначення перспектив їх використання у виробництві харчових продуктів функціонального призначення.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Отримані результати аналізу насіння льону олійного сорту Водограй [32] та макухи, отриманої після його пресування наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика насіння льону олійного сорту Водограй та макухи, отриманої після його пресування

Показник	Значення	
	Насіння	Макуха
Вологість, %	6,84±0,41	8,23±0,50
Масова частка протеїну, у перерахунку на суху речовину, %	26,85±1,08	41,85±0,52
Масова частка олії, у перерахунку на суху речовину, %	44,48±1,08	13,58±1,02
Масова частка клітковини, у перерахунку на суху речовину, %	22,14±0,92	10,17±0,23
Масова частка золи, у перерахунку на суху речовину, %	2,11±0,02	4,36±0,05

Аналіз даних, наведених у табл. 3.1, свідчить про суттєві зміни хімічного складу насіння льону олійного сорту Водограй після видобування з нього олії методом пресування.

Вологість вихідного насіння становила 6,84 %, тоді як у макусі цей показник зріс до 8,23 %. Підвищення вологості макухи може бути пов'язане зі зміною співвідношення основних компонентів після вилучення частини олії та відносним збільшенням частки гідрофільних речовин, насамперед білків та вуглеводів, здатних утримувати вологу.

Масова частка протеїну в насінні льону становила 26,85 %, а в макусі після пресування збільшилася до 41,85 %. Зростання показника майже в 1,6 раза пояснюється концентрацією білкових речовин у сухому залишку

внаслідок вилучення значної частини олії. Отримані результати свідчать про високу біологічну цінність макухи та перспективність її використання як білкової сировини для виробництва харчових продуктів функціонального призначення.

Вміст олії у насінні становив 44,48 %, тоді як у макусі після пресування залишалося 13,58 % олії. Це підтверджує достатньо високу ефективність процесу пресування та одночасно свідчить про наявність у макусі значної кількості залишкової олії, яка містить цінні поліненасичені жирні кислоти та може підвищувати поживну цінність продуктів на її основі.

Масова частка клітковини у насінні льону становила 22,14 %, а в макусі знизилася до 10,17 %. Отримані результати можуть бути пов'язані з особливостями методики визначення показника та перерозподілом компонентів у сухій речовині після вилучення олії. Незважаючи на зниження показника, макуха залишається важливим джерелом харчових волокон.

Вміст золи після пресування зріс із 2,11 % у насінні до 4,36 % у макусі. Підвищення зольності пояснюється концентрацією мінеральних речовин у залишку після вилучення олії та свідчить про високу мінеральну цінність макухи.

Таким чином, проведені дослідження показали, що макуха з насіння льону олійного характеризується підвищеним вмістом протеїну та мінеральних речовин, а також містить значну кількість залишкової олії. Отримані результати підтверджують доцільність її подальшої переробки та використання як цінної сировини для виробництва харчових інгредієнтів та продуктів функціонального призначення.

Результати подрібнення та фракціонування макухи з насіння льону олійного проілюстровано на рис. 3.1, тоді як у табл. 3.2 наведено вихід отриманих фракцій.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд одержаних фракцій подрібненої лляної макухи, зліва на право: схід з сита 0,56 мм, схід з сита 0,2 мм, прохід через сито 0,2 мм

Таблиця 3.2 – Вихід фракцій подрібненої лляної макухи

Фракція	Вихід, %
Зразок №1 (схід з сита 0,56 мм)	10,81±1,11
Зразок №2 (схід з сита 0,2 мм)	80,40±1,27
Зразок №3 (прохід через сито 0,2 мм)	8,79±0,43

Аналіз результатів, наведених у табл. 3.2, показав, що після подрібнення та фракціонування макухи з насіння льону олійного основну частку продукту становила фракція середнього розміру частинок. Найбільший вихід отримано для зразка №2 (схід із сита 0,2 мм), який становив 80,40 %. Це свідчить про те, що після подрібнення переважна більшість частинок макухи мала розміри в межах від 0,20 до 0,56 мм. Отриманий результат вказує на високу однорідність продукту та ефективність обраного режиму подрібнення.

Вихід зразка №1 (схід із сита 0,56 мм) становив 10,81 %. Наявність порівняно невеликої кількості крупних частинок пояснюється неоднорідністю структури макухи та наявністю фрагментів оболонок насіння, які характеризуються підвищеною міцністю та гірше піддаються руйнуванню під час подрібнення.

Найменший вихід було зафіксовано для зразка №3 (прохід через сито 0,20 мм) – 8,79 %. Це свідчить про незначну кількість дрібнодисперсних частинок у подрібненому продукті та підтверджує, що застосований режим подрібнення не призводив до надмірного утворення пилоподібної фракції.

Отримані результати свідчать, що подрібнення макухи з насіння льону олійного протягом 30 с за швидкості обертання робочого органа 32000 об/хв забезпечує формування переважно середньої фракції з розміром частинок від 0,20 до 0,56 мм. Такий гранулометричний склад є сприятливим для подальшого використання продукту як харчового інгредієнта та створює передумови для диференційованого використання окремих фракцій залежно від їх фізико-хімічних властивостей.

Кольорові параметри одержаних фракцій подрібненої макухи, визначені із застосуванням портативного колориметра «Linshang LS173», наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Кольорові характеристики подрібненої лляної макухи

Назва показника	№ дослідного зразка		
	1	2	3
Колір			
L	54,43	61,69	61,88
a	7,54	6,37	6,12
b	15,16	16,53	15,65

Аналіз результатів дослідження кольорових характеристик подрібненої лляної макухи, наведених у табл. 3.3, свідчить про наявність певних відмінностей між отриманими фракціями, що обумовлені їх гранулометричним складом та співвідношенням окремих компонентів.

Показник світлості L^* характеризує ступінь наближення кольору до білого. Для дослідних зразків його значення знаходилися в межах від 54,43 до 61,88. Найменше значення світлості було зафіксовано у зразка №1 (54,43), що

свідчить про більш темне забарвлення крупної фракції. Для зразків №2 і №3 значення показника становили відповідно 61,69 та 61,88, що вказує на їх світліший колір. Підвищення світлості дрібніших фракцій можна пояснити більш рівномірним розподілом частинок та меншою кількістю темнозабарвлених фрагментів оболонки насіння.

Показник a^* , який характеризує зміну кольору від зеленого до червоного відтінку, для всіх дослідних зразків мав додатні значення (6,12–7,54), що свідчить про наявність червонувато-коричневого відтінку. Найвище значення показника встановлено у зразка №1 (7,54), тоді як у зразків №2 і №3 воно зменшувалося до 6,37 та 6,12 відповідно. Це свідчить про менш виражений червоний відтінок у дрібнодисперсних фракціях.

Показник b^* характеризує інтенсивність жовтого кольору. Для дослідних зразків його значення перебували в межах 15,16–16,53. Максимальне значення показника спостерігалось у зразка №2 (16,53), що свідчить про найбільш виражений жовтий відтінок цієї фракції. У зразків №1 та №3 значення показника були дещо нижчими і становили 15,16 та 15,65 відповідно.

Отримані результати свідчать, що фракціонування подрібненої лляної макухи впливає на її кольорові характеристики. Крупна фракція характеризується більш темним кольором і підвищеною інтенсивністю червоного відтінку, тоді як середня та дрібна фракції є світлішими та мають більш однорідне забарвлення. Найбільш світлою виявилася дрібнодисперсна фракція (зразок №3), що може бути перевагою при її використанні у виробництві харчових продуктів, де важливими є зовнішній вигляд та колір готової продукції.

У табл. 3.4 наведено результати дослідження хімічного складу отриманих фракцій подрібненої макухи з насіння льону олійного, зокрема масової частки вологи, протеїну, олії, клітковини та зольних речовин.

Таблиця 3.4 – Результати аналізу фракцій подрібненої лляної макухи

Масова частка	№ дослідного зразка подрібненої лляної макухи		
	1	2	3
Вологи, %	8,08±0,01	7,62±0,22	7,53±0,26
Протеїну*, %	32,80±0,03	42,94±0,02	47,62±0,03
Олії*, %	13,84±0,04	14,98±0,04	17,14±0,03
Клітковини*, %	16,60±0,02	10,36±0,03	5,31±0,02
Золи*, %	3,81±0,02	4,37±0,03	4,52±0,04

* - у перерахунку на сухі речовини

Аналіз результатів дослідження фізико-хімічного складу фракцій подрібненої лляної макухи, наведених у табл. 3.4, свідчить про суттєвий вплив гранулометричного складу на розподіл основних поживних компонентів.

Масова частка вологи у дослідних зразках перебувала в межах від 7,53 до 8,08 %. Найвище значення показника зафіксовано для зразка №1 (8,08 %), тоді як найменшу вологість мав зразок №3 (7,53 %). Відмінності між фракціями були незначними, що свідчить про рівномірний розподіл вологи після подрібнення та просіювання макухи.

Вміст протеїну характеризувався чіткою тенденцією до зростання зі зменшенням розміру частинок. Так, у зразку №1 масова частка протеїну становила 32,80 %, у зразку №2 – 42,94 %, а максимальне значення зафіксовано у зразку №3 – 47,62 %. Отримані результати свідчать про концентрацію білкових речовин у дрібнодисперсній фракції, що робить її перспективною для використання як білковий харчовий інгредієнт.

Аналогічна закономірність спостерігалася і для вмісту олії. Масова частка жиру збільшувалася від 13,84 % у крупній фракції до 17,14 % у дрібнодисперсній. Це може бути пов'язано з тим, що під час подрібнення частинки, багаті на залишкову олію, легше руйнуються та переходять до

дрібніших фракцій. Підвищений вміст олії додатково підвищує поживну та енергетичну цінність зразка №3.

На відміну від протеїну та олії, вміст клітковини зі зменшенням розміру частинок суттєво знижувався. У зразку №1 масова частка клітковини становила 16,60 %, у зразку №2 – 10,36 %, а у зразку №3 – лише 5,31 %. Такий розподіл пояснюється концентрацією оболонкових частин насіння у крупній фракції, які є основним джерелом харчових волокон.

Масова частка золи у всіх зразках перебувала на відносно високому рівні та коливалася від 3,81 до 4,52 %. Найменше значення показника встановлено для крупної фракції, тоді як у середній та дрібній фракціях вміст мінеральних речовин був дещо вищим. Це свідчить про часткову концентрацію мінеральних компонентів у дрібніших частинках подрібненої макухи.

Отже, результати досліджень показали, що фракціонування подрібненої лляної макухи дозволяє отримати продукти з різним хімічним складом та функціональними властивостями. Крупна фракція (зразок №1) характеризується найвищим вмістом клітковини та може розглядатися як джерело харчових волокон. Середня фракція (зразок №2) має збалансований склад і може бути використана як універсальна борошниста сировина. Дрібнодисперсна фракція (зразок №3) відзначається підвищеним вмістом протеїну та олії, що дає підстави розглядати її як перспективний білково-ліпідний концентрат для виробництва функціональних харчових продуктів.

На основі результатів визначення хімічного складу розраховано поживну та енергетичну цінність дослідних фракцій подрібненої макухи з насіння льону олійного. Отримані результати наведено в табл. 3.5.

Аналіз результатів розрахунку поживної та енергетичної цінності різних фракцій подрібненої лляної макухи, наведених у табл. 3.5, свідчить про суттєві відмінності їх харчового складу залежно від гранулометричного складу.

На відміну від білків і жирів, вміст вуглеводів мав зворотну тенденцію. Найвищий показник було встановлено для зразка №1 – 32,96 г/100 г, тоді як у зразку №2 він становив 27,34 г/100 г, а у зразку №3 – 25,41 г/100 г. Зменшення

кількості вуглеводів у дрібнодисперсних фракціях пов'язане зі зростанням частки білків та жирів у їх складі.

Таблиця 3.5 – Поживна та енергетична цінність різних фракцій подрібненої лляної макухи

Назва показника	№ дослідного зразка		
	1	2	3
Білки, г/100 г	32,80	42,94	47,62
Жири, г/100 г	13,84	14,98	17,14
Вуглеводи, г/100 г	32,96	27,34	25,41
Енергетична цінність, ккал/100 г	380,96	410,51	441,30

Енергетична цінність дослідних зразків коливалася в межах від 380,96 до 441,30 ккал/100 г. Найнижчу калорійність мав зразок №1, а найвищу – зразок №3. Зростання енергетичної цінності від крупної до дрібнодисперсної фракції пояснюється підвищенням вмісту білків і особливо жирів, які є найбільш енергоємними компонентами харчових продуктів.

Таким чином, проведені розрахунки показали, що отримані фракції подрібненої лляної макухи суттєво відрізняються за поживною та енергетичною цінністю. Крупна фракція (зразок №1) характеризується відносно нижчою калорійністю та вищим вмістом вуглеводів, середня фракція (зразок №2) має збалансований склад, а дрібнодисперсна фракція (зразок №3) відзначається максимальним вмістом білків і жирів та найвищою енергетичною цінністю. Це свідчить про перспективність її використання у виробництві функціональних харчових продуктів, білкових сумішей та інших продуктів підвищеної поживної цінності.

Порівняльний аналіз отриманих фракцій лляної макухи із виробничими зразками наведено в табл. 3.6–3.8.

Таблиця 3.6 – Порівняльний аналіз зразку №1 подрібненої лляної макухи із виробничими зразками клітковини

Назва показника, на 100 г продукту	Зразок №1	Виробничі зразки
Білки, г	32,80	17,0–34,0
Жири, г	13,84	8,0–12,6
Вуглеводи, г	32,96	5,0–12,9
Енергетична цінність, ккал	380,96	250–298

Аналіз результатів порівняльного дослідження, наведених у табл. 3.6, свідчить, що зразок №1 подрібненої лляної макухи за своїми харчовими характеристиками не поступається, а за окремими показниками перевищує виробничі аналоги клітковини, представлені на ринку.

Вміст білків у зразку №1 становив 32,80 г/100 г, що відповідає верхній межі діапазону, характерного для промислових зразків клітковини (17,0–34,0 г/100 г). Це свідчить про високу білкову цінність продукту та можливість його використання не лише як джерела харчових волокон, а й як додаткового джерела рослинного протеїну.

Масова частка жирів у дослідному зразку становила 13,84 г/100 г, що дещо перевищує показники виробничих аналогів (8,0–12,6 г/100 г). Підвищений вміст жиру пояснюється наявністю залишкової лляної олії після пресування насіння. З огляду на високу частку поліненасичених жирних кислот у лляній олії, ця особливість може розглядатися як додаткова перевага продукту з точки зору його біологічної цінності.

Вміст вуглеводів у зразку №1 становив 32,96 г/100 г, що значно перевищує аналогічний показник промислових зразків (5,0–12,9 г/100 г). Така різниця може бути пов'язана з особливостями хімічного складу лляної макухи

та наявністю у ній значної кількості структурних полісахаридів та слизових речовин.

Енергетична цінність дослідного зразка становила 380,96 ккал/100 г, що також є вищим показником порівняно з виробничими аналогами (250–298 ккал/100 г). Підвищена калорійність обумовлена більшим вмістом білків, жирів та вуглеводів у дослідному продукті.

Таким чином, зразок №1 подрібненої лляної макухи характеризується високою поживною цінністю та за основними показниками перевищує або відповідає рівню промислових зразків харчової клітковини. Отримані результати свідчать про перспективність його використання як функціонального інгредієнта у виробництві харчових продуктів, збагачених харчовими волокнами, рослинним білком та біологічно активними речовинами.

Таблиця 3.7 – Порівняльний аналіз зразку №2 подрібненої лляної макухи із виробничими зразками борошна

Назва показника, на 100 г продукту	Зразок №2	Виробничі зразки
Білки, г	42,94	23,6–36,0
Жири, г	14,98	5,0–17,0
Вуглеводи, г	27,34	2,0–50,5
Енергетична цінність, ккал	410,51	236–391

Аналіз результатів порівняльного дослідження, наведених у табл. 3.7, свідчить, що зразок №2 подрібненої лляної макухи за своїми показниками відповідає вимогам до борошнистих продуктів та може розглядатися як перспективна сировина для використання у харчовій промисловості.

Вміст білків у зразку №2 становив 42,94 г/100 г, що перевищує показники виробничих зразків борошна, для яких цей показник знаходився в межах 23,6–36,0 г/100 г. Отримані результати свідчать про високу концентрацію білкових речовин у дослідному зразку та його перспективність для виробництва продуктів підвищеної поживної цінності, зокрема функціонального, дієтичного та спортивного харчування.

Вміст жирів у зразку №2 становив 14,98 г/100 г, що перебуває в межах значень, характерних для промислових аналогів (5,0–17,0 г/100 г), хоча й наближається до верхньої межі діапазону. Це пояснюється наявністю залишкової лляної олії, яка збагачує продукт поліненасиченими жирними кислотами та підвищує його біологічну цінність.

Масова частка вуглеводів у дослідному зразку дорівнювала 27,34 г/100 г, що також знаходиться в межах показників виробничих зразків (2,0–50,5 г/100 г). Це свідчить про збалансований вуглеводний склад продукту та можливість його використання у складі різноманітних харчових виробів.

Енергетична цінність зразка №2 становила 410,51 ккал/100 г, що дещо перевищує показники промислових аналогів (236–391 ккал/100 г). Підвищена калорійність зумовлена насамперед високим вмістом білків та жирів, які формують значну частину енергетичної цінності продукту.

Таким чином, зразок №2 подрібненої лляної макухи характеризується високим вмістом білка, достатньою кількістю жирів та збалансованим вуглеводним складом. За основними показниками він не поступається виробничим зразкам борошна, а за вмістом білків навіть перевищує їх. Це дозволяє рекомендувати дану фракцію для використання як борошністий інгредієнт у технологіях хлібобулочних, кондитерських, макаронних та інших виробів функціонального призначення.

Аналіз результатів порівняльного дослідження, наведених у табл. 3.8, свідчить про те, що зразок №3 подрібненої лляної макухи за своїми характеристиками можна розглядати як перспективний білково-ліпідний

концентрат, який може конкурувати з наявними на ринку білковими продуктами рослинного походження.

Таблиця 3.8 – Порівняльний аналіз зразку №3 подрібненої лляної макухи із виробничими зразками білкового концентрату (протеїну)

Назва показника, на 100 г продукту	Зразок №3	Виробничі зразки
Білки, г	47,62	26,0–45,0
Жири, г	17,14	7,0–17,0
Вуглеводи, г	25,41	10,0–41,0
Енергетична цінність, ккал	441,30	241–369

Вміст білків у зразку №3 становив 47,62 г/100 г, що перевищує показники виробничих зразків білкових концентратів, для яких цей показник знаходився в межах 26,0–45,0 г/100 г. Отриманий результат свідчить про високу концентрацію протеїну в дрібнодисперсній фракції та підтверджує ефективність фракціонування макухи як способу одержання продукту з підвищеним вмістом білкових речовин.

Вміст жирів у дослідному зразку становив 17,14 г/100 г, що практично відповідає верхній межі значень, характерних для промислових аналогів (7,0–17,0 г/100 г). Підвищений вміст жиру обумовлений наявністю залишкової лляної олії, яка є джерелом біологічно цінних поліненасичених жирних кислот родини ω -3 та ω -6. Завдяки цьому продукт має не лише високу поживну, а й підвищену біологічну цінність.

Масова частка вуглеводів у зразку №3 становила 25,41 г/100 г, що знаходиться в межах показників виробничих білкових концентратів (10,0–41,0 г/100 г). Це свідчить про збалансований склад продукту та можливість його використання як інгредієнта для збагачення харчових продуктів.

Енергетична цінність дослідного зразка становила 441,30 ккал/100 г, що перевищує значення, характерні для промислових аналогів (241–369 ккал/100 г). Висока калорійність пояснюється підвищеним вмістом білків та жирів, які формують основну частину енергетичної цінності продукту.

Таким чином, зразок №3 подрібненої лляної макухи характеризується найвищим серед досліджених фракцій вмістом білка та жиру, а за окремими показниками перевищує наявні на ринку білкові концентрати рослинного походження. Отримані результати свідчать про доцільність використання даної фракції як основи для виробництва білкових сумішей, функціональних харчових інгредієнтів, продуктів спортивного, дієтичного та оздоровчого харчування.

Висновки до розділу

Процес пресування суттєво впливає на хімічний склад насіння льону олійного. У дослідженій макусі з насіння льону олійного порівняно з вихідним насінням спостерігалось підвищення вмісту протеїну та мінеральних речовин, а також зберігалася значна кількість залишкової олії. Це підтверджує високу поживну цінність лляної макухи та доцільність її подальшої переробки як перспективної сировини для виробництва функціональних харчових інгредієнтів та продуктів підвищеної біологічної цінності.

У результаті подрібнення та фракціонування макухи з насіння льону олійного встановлено, що переважна частина продукту (80,40 %) представлена фракцією з розміром частинок 0,20–0,56 мм. Вихід крупної та дрібнодисперсної фракцій був значно меншим і становив відповідно 10,81 та 8,79 %. Отримані результати свідчать про ефективність обраного режиму подрібнення та формування переважно однорідного продукту, придатного для подальшої переробки та використання у харчовій промисловості.

Встановлено, що подрібнення та фракціонування макухи з насіння льону олійного дозволяє отримати продукти з різними фізико-хімічними та функціональними властивостями.

Дослідження кольорових характеристик показало, що зі зменшенням розміру частинок зростає світлість фракцій та знижується інтенсивність червоного відтінку, що позитивно впливає на їх товарний вигляд та розширює можливості використання у складі харчових продуктів.

Встановлено суттєвий вплив гранулометричного складу на хімічний склад фракцій. Дрібнодисперсна фракція характеризувалася найвищим вмістом протеїну (47,62 %) та олії (17,14 %), тоді як крупна фракція містила найбільшу кількість клітковини (16,60 %). Це свідчить про можливість цілеспрямованого використання окремих фракцій залежно від їх функціонального призначення.

Розрахунок поживної та енергетичної цінності показав, що зі зменшенням розміру частинок підвищуються вміст білків, жирів та калорійність продукту. Найвищою поживною цінністю характеризувалася дрібнодисперсна фракція, енергетична цінність якої становила 441,30 ккал/100 г.

Порівняльний аналіз із промисловими аналогами підтвердив конкурентоспроможність отриманих продуктів. Зразок №1 доцільно розглядати як джерело харчових волокон, зразок №2 – як борошністий інгредієнт для хлібобулочних та кондитерських виробів, а зразок №3 – як білково-ліпідний концентрат для функціонального, дієтичного та спортивного харчування.

Отримані результати підтверджують доцільність комплексної переробки макухи з насіння льону олійного та перспективність її використання для виробництва нових харчових інгредієнтів з високою поживною та біологічною цінністю.

Загальні рекомендації для підприємств харчової промисловості:

- Впроваджувати технології фракціонування макухи після пресового видобування лляної олії з метою отримання продуктів різного функціонального призначення.
- Розглядати макуху не як побічний продукт виробництва, а як цінну вторинну сировину з високою доданою вартістю.
- Використовувати отримані фракції для розроблення нових видів функціональних харчових продуктів, збагачених білком, харчовими волокнами та поліненасиченими жирними кислотами.
- Забезпечувати зберігання отриманих продуктів у герметичній упаковці з обмеженим доступом кисню та світла для запобігання окисненню залишкової лляної олії.
- Рекомендувати використання фракціонованої лляної макухи як вітчизняної альтернативи імпортним білковим концентратам та харчовим волокнам.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Основні положення охорони праці при переробці лляної макухи

Дослідження були проведені в лабораторії кафедри харчових технологій ДДАЕУ, оснащений необхідним обладнанням для подрібнення, просіювання, сушіння та аналізу побічних продуктів переробки насіння льону, зокрема лляної макухи. Організація робіт та забезпечення безпечних умов праці здійснювалися відповідно до вимог чинного законодавства України з охорони праці, нормативно-технічної документації, правил безпечної експлуатації лабораторного обладнання та внутрішніх інструкцій закладу вищої освіти.

Переробка побічних продуктів насіння льону включає операції механічного подрібнення, класифікації за розмірами частинок, сушіння, зберігання та проведення лабораторних досліджень хімічного складу. Виконання зазначених технологічних процесів пов'язане з впливом ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що вимагає дотримання комплексу заходів з охорони праці для запобігання травматизму та професійним захворюванням.

Під час подрібнення та фракціонування лляної макухи основними небезпечними чинниками є рухомі елементи обладнання, підвищений рівень шуму, вібрація та утворення дрібнодисперсного органічного пилу. Робота повинна виконуватися лише на технічно справному обладнанні, оснащеному захисними кожухами, блокувальними пристроями та системами аварійного відключення. Забороняється проводити очищення, налагодження або ремонт обладнання під час його роботи. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: спецодяг, захисні окуляри, респіратори або фільтрувальні маски.

Особлива увага приділяється контролю запиленості повітря робочої зони. Під час механічної обробки продуктів переробки насіння льону олійного

утворюються дрібні частинки пилу, які можуть негативно впливати на органи дихання та спричиняти алергічні реакції. Для підтримання нормативних санітарно-гігієнічних умов приміщення повинні бути обладнані ефективною загальнообмінною та місцевою витяжною вентиляцією. Регулярне вологе прибирання виробничих і лабораторних приміщень сприяє зниженню концентрації пилу в повітрі та покращенню умов праці.

Під час визначення фізико-хімічних показників побічних продуктів переробки насіння льону (вологості, вмісту жиру, білка, клітковини, золи та інших показників якості) виникають ризики, пов'язані з використанням нагрівального обладнання та хімічних реактивів. Роботи з кислотами, лугами та органічними розчинниками необхідно виконувати у витяжних шафах із застосуванням захисних окулярів, лабораторного халата та хімічностійких рукавиць. Сушильні шафи, муфельні печі та екстракційне обладнання слід експлуатувати відповідно до вимог інструкцій виробників та правил електробезпеки.

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для процесів переробки побічних продуктів льону, наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при переробці побічних продуктів льону

Виробничий фактор	Джерело виникнення	Можливий вплив на працівника	Заходи захисту
1	2	3	4
Пил органічного походження	Подрібнення, просіювання та транспортування макухи	Подразнення слизових оболонок, захворювання органів дихання, алергічні реакції	Використання респіраторів, місцевої витяжної вентиляції, регулярне вологе прибирання приміщень
Шум	Робота млинів, дробарок, ситових установок та вентиляційного	Зниження слуху, підвищена втомлюваність, погіршення	Застосування шумопоглинаючих матеріалів, використання засобів

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
	обладнання	концентрації уваги	захисту слуху, контроль рівня шуму
Вібрація	Робота подрібнювального та просіювального обладнання	Погіршення функціонального стану опорно-рухового апарату та нервової системи	Технічне обслуговування обладнання, використання віброгасних елементів, обмеження часу контакту з джерелом вібрації
Підвищена температура поверхонь обладнання	Сушильні шафи, муфельні печі, нагрівальні прилади	Опіки, перегрівання організму	Використання термостійких рукавиць, дотримання правил експлуатації обладнання, попереджувальні знаки
Електричний струм	Електродвигуни, сушильні установки, лабораторне обладнання	Ураження електричним струмом, електротравми	Заземлення обладнання, періодична перевірка електромереж, використання справних електроприладів
Хімічні реагенти	Проведення лабораторних аналізів сировини та готових продуктів	Хімічні опіки, подразнення шкіри та органів дихання, отруєння	Робота у витяжних шафах, використання захисних окулярів, рукавиць та лабораторного одягу

Важливим елементом системи охорони праці є забезпечення пожежної безпеки. Ляна макуха та пил, що утворюється під час її переробки, належать до горючих органічних матеріалів. Для запобігання виникненню пожеж забороняється використання відкритого вогню поблизу місць зберігання та переробки сировини. Електрообладнання повинно бути справним, заземленим та регулярно перевірятися. Робочі приміщення необхідно забезпечувати

первинними засобами пожежогасіння, а персонал має бути ознайомлений з порядком дій у разі виникнення аварійних ситуацій.

До виконання робіт допускаються особи, які пройшли вступний, первинний та повторний інструктажі з охорони праці, ознайомлені з технологічним процесом і правилами безпечної експлуатації обладнання. Дотримання встановлених вимог охорони праці забезпечує безпечне виконання технологічних операцій, мінімізує виробничі ризики та сприяє ефективній переробці побічних продуктів насіння льону.

4.2 Розробка картки безпеки праці при переробці макухи з насіння льону

На рис. 4.1 наведена розроблена картка безпеки праці для оператора лінії з переробки побічних продуктів із насіння льону – макухи.

4.3 Правила безпеки при роботі з відходами при переробці макухи з насіння льону

Поводження з відходами, що утворюються під час переробки макухи з насіння льону, повинно здійснюватися відповідно до принципів ресурсозбереження, екологічної безпеки та вимог чинного природоохоронного законодавства. Раціональне використання побічних продуктів переробки сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та підвищенню ефективності виробництва.

У процесі подрібнення, просіювання та фракціонування лляної макухи утворюються переважно органічні відходи рослинного походження, до яких належать пилоподібні частинки, дрібні фракції, ситові залишки та сировина, що не відповідає встановленим вимогам якості. Такі відходи характеризуються високим вмістом органічних речовин і, як правило, не

належать до небезпечних. За умови дотримання санітарно-гігієнічних вимог вони можуть бути повторно використані як вторинна сировина.

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

Рисунок 4.1 – Картка безпеки праці для оператора лінії

Ситові залишки та дрібнодисперсні фракції лляної макухи доцільно використовувати у виробництві кормових сумішей для сільськогосподарських тварин, як компонент органічних добрив або сировину для компостування. Крім того, завдяки значному вмісту клітковини та залишкової кількості поживних речовин такі відходи можна застосовувати у технологіях біологічної переробки органічних матеріалів.

Відходи, які втратили споживчі властивості внаслідок зволоження, забруднення або мікробіологічного псування, підлягають окремому збиранню та тимчасовому зберіганню у закритих контейнерах. Такий спосіб зберігання запобігає повторному утворенню пилу, поширенню сторонніх запахів та розвитку небажаної мікрофлори. Подальше поводження з такими відходами здійснюється шляхом передачі спеціалізованим підприємствам або використанням методів біологічної утилізації відповідно до встановлених екологічних вимог.

Особливу увагу необхідно приділяти контролю та видаленню пилу, що утворюється під час механічної обробки макухи за насіння льону. Накопичення пилу в робочих приміщеннях може негативно впливати на стан здоров'я працівників, а також підвищувати ризик виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Для запобігання цьому рекомендується застосовувати аспіраційні установки, місцеві витяжні системи вентиляції та промислові пилососи. Зібраний пил може бути утилізований разом з іншими органічними відходами або використаний у складі агротехнічних сумішей за умови відповідності вимогам безпеки.

Дотримання вимог щодо належного поводження з відходами при переробці макухи із насіння льону забезпечує зниження екологічного навантаження на довкілля, сприяє ефективному використанню ресурсів та відповідає принципам сталого розвитку агропромислового комплексу.

Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу встановлено, що процес переробки макухи з насіння льону олійного супроводжується дією ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких органічний пил, шум, вібрація, підвищена температура поверхонь обладнання, електричний струм та хімічні реагенти, що використовують під час лабораторних досліджень. Для мінімізації виробничих ризиків необхідно забезпечувати справний технічний стан обладнання, використання засобів індивідуального захисту, ефективну вентиляцію робочих приміщень та дотримання вимог електро- і пожежної безпеки. Розроблено картку безпеки праці для оператора лінії з переробки макухи з насіння льону, яка містить основні вимоги щодо безпечного виконання технологічних операцій, профілактики травматизму та дій у разі виникнення аварійних ситуацій. Її впровадження сприятиме підвищенню рівня безпеки праці та зниженню ризику виникнення нещасних випадків.

Встановлено, що відходи, які утворюються під час подрібнення та фракціонування лляної макухи, переважно мають органічне походження і можуть бути повторно використані як кормова сировина, компонент органічних добрив або матеріал для компостування. Такий підхід відповідає принципам безвідходного виробництва та раціонального використання ресурсів. Особливу увагу необхідно приділяти контролю утворення та видалення пилу, оскільки його накопичення негативно впливає на умови праці та підвищує пожежонебезпечність виробництва. Використання аспіраційних систем, місцевої витяжної вентиляції та регулярне прибирання приміщень дозволяють підтримувати належний санітарно-гігієнічний стан робочої зони.

Таким чином, дотримання вимог охорони праці та екологічної безпеки під час переробки макухи з насіння льону олійного забезпечує безпечні умови праці персоналу, ефективне використання вторинної сировини, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та відповідає сучасним принципам сталого розвитку харчової промисловості.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Аналіз наукових і літературних джерел підтвердив актуальність та доцільність переробки макухи, що утворюється після видобування олії з насіння розторопші плямистої, як цінної вторинної сировини для виробництва сипких продуктів функціонального призначення. У процесі експериментальних досліджень було вивчено фізико-хімічні показники, кольорові характеристики, а також визначено поживну та енергетичну цінність різних фракцій подрібненої лляної макухи.

Для оцінки економічної складової виконаних досліджень розроблено кошторис витрат, який включає основні матеріальні, енергетичні та трудові ресурси, необхідні для проведення експериментальних робіт.

Розрахунок витрат на основні та побічні матеріали виконували за формулою (5.1):

$$m = \sum m_i \cdot C_i, \quad (5.1)$$

де m_i – масова кількість використаного i -го матеріалу, кг;

C_i – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 5.1

Таблиця 5.1 – Кількість використаних матеріалів та їх вартість

№ з/п	Найменування матеріалів, одиниці	Ціна за одиницю, грн	Кількість	Сума, грн
1	Насіння льону олійного, кг	60,00	4	240,00
Всього				240,00

Розрахунок заробітної плати керівника наукового дослідження наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньогодинний заробіток, грн/год	Кільк. людино-годин	Сума, грн
Керівник кваліфікаційної роботи	14574,00	101,21	20	2024,20
Всього				2024,20

Нарахування на заробітну плату складають 22 % від фонду робочого часу. Відповідно, до визначеної суми заробітної плати вони становлять:

$$H = \frac{2024,20 \cdot 22}{100} = 445,32 \text{ грн} \quad (5.2)$$

Витрати на спожиту електроенергію розраховували за формулою (5.3):

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

де M – потужність задіяного електрообладнання, кВт;

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

T – час роботи обладнання, год.;

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

$a = 9,83 \text{ грн.}/(\text{кВт/год.})$.

Дослідження проводили з використанням наступного лабораторного обладнання:

- лабораторні ваги;
- млин лабораторний «НС-1000Y»;

- розсійник лабораторний;
- ваги-вологомір «Radwag MA 110.R»;
- ноутбук «Asus Vivobook»;
- колориметр портативний «Linshang LS173»;

Узагальнені результати розрахунків дійсних витрат на електроенергію наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків витрат на електроенергію

Обладнання	Потужність обладнання, кВт	Час роботи обладнання, год	Витрати на електроенергію, грн
Лабораторні ваги	0,012	1,1	0,12
Млин лабораторний «НС-1000Y»	3,2	0,2	5,66
Розсійник лабораторний	0,015	0,3	0,04
Ваги-вологомір «Radwag MA 110.R»	0,3	4,6	12,21
Ноутбук «Asus Vivobook»	0,02	61	10,79
Всього			28,82

Витрати на амортизацію обладнання знаходили за формулою (5.4):

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

де А – амортизаційні відрахування, грн;

Φ – вартість обладнання, грн;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на даному обладнанні, днів;

365 – кількість днів у році.

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Лабораторні ваги	11670,20	10	0,05	0,16
Млин лабораторний «НС-1000Y»	13166,80	10	0,01	0,04
Розсійник лабораторний	23000,50	10	0,01	0,06
Ноутбук «Asus Vivobook»	35999,50	25	2,5	61,64
Колориметр портативний «Linshang LS173»	9990,50	10	0,36	0,99
Вологомір «Radwag MA 110.R»	70000,00	15	0,37	10,64
Всього				73,53

Накладні витрати, що пов'язані з обслуговуванням лабораторного обладнання приймають на рівні 80 % від розрахованої заробітної плати виконавців дослідження і становлять:

$$\frac{2024,20 \cdot 80}{100} = 1619,36 \text{ грн}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	240,00
Заробітна плата	2024,20
Нарахування на заробітну плату	445,32
Електроенергія	28,82
Амортизація	73,53
Накладні витрати	1619,36
Додаткові витрати	6672,00
Всього	11103,23

Загальна вартість дослідження визначали за формулою (5.5):

$$\text{Ц} = \text{С} + \frac{\text{Р} \cdot \text{С}}{100}, \quad (5.5)$$

де Ц – вартість дослідження, грн;

С – витрати на дослідження, грн;

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

$$\text{Ц} = 11103,23 + \frac{30 \cdot 11103,23}{100} = 14434,20 \text{ грн}$$

Витрати на проведені дослідження кваліфікаційної роботи становили 14434,20 грн.

Техніко-економічні показники виробництва сипких продуктів із лляної макухи у лабораторних умовах наведені у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Техніко-економічні показники виробництва сипких продуктів із лляної макухи

Найменування статей калькуляції	Виробництво сипких продуктів із лляної макухи за розробленою технологією		
	Кількість	Ціна (грн.)	Сума (грн.)
Сировина та основні матеріали:			
Макуха лляна, кг	800	8,00	6400,00
Зворотні відходи, що реалізуються:	-	-	-
<i>Разом сировини і основних матеріалів за вирахуванням попутної продукції та зворотних відходів, кг</i>			6400,00
Допоміжні і таропакувальні матеріали:			
Дой-пак, шт.	2465	3,20	7888,00
Картонні коробки, шт	124	13,50	1674,00
Разом			9562,00
Паливо і енергія на технологічні цілі:			
Електроенергія, кВт.год:	79,68	9,83	783,25
Разом			783,25
Витрати на утримання та експлуатацію обладнання			500
Амортизаційні відрахування			250,00
Вихід готової продукції, кг:			17495,25
клітковина	86,48		
борошно	643,20		
білковий концентрат	70,32		
Виробнича собівартість 1 кг готового продукту			21,87

Аналіз техніко-економічних показників, наведених у табл. 5.6, свідчить про економічну доцільність виробництва сипких продуктів із лляної макухи за розробленою технологією. Основною статтею витрат є придбання сировини – лляної макухи, вартість якої для переробки 800 кг становить 6400 грн. Значну частку витрат також формують таропакувальні матеріали (9562 грн), що перевищує витрати на сировину та становить найбільшу складову собівартості готової продукції. Витрати на електроенергію, утримання обладнання та амортизаційні відрахування є порівняно незначними.

У результаті переробки 800 кг лляної макухи можна отримати 86,48 кг лляної клітковини, 643,20 кг лляного борошна та 70,32 кг білкового концентрату. Розрахункова виробнича собівартість 1 кг продукції становить 21,87 грн.

Порівняння отриманої собівартості з ринковими цінами аналогічної продукції в Україні свідчить про значний економічний потенціал її виробництва. Так, лляна клітковина реалізується на українському ринку переважно за ціною від 100 до 120 грн/кг, а окремі фасовані продукти мають ще вищу вартість. Лляне борошно залежно від виробника, фасування та торгової марки реалізується за ціною близько 55–197 грн/кг, при цьому більшість пропозицій знаходиться в межах 70–120 грн/кг. Білкові концентрати та протеїни рослинного походження є найбільш дорогим сегментом ринку функціональних інгредієнтів. Навіть за умови реалізації лляного білкового концентрату за ціною, співставною з нижньою межею ринку рослинних протеїнів, його ринкова вартість суттєво перевищуватиме розраховану виробничу собівартість.

Таким чином, прогнозована собівартість продукції на рівні 21,87 грн/кг є у декілька разів нижчою за поточні ринкові ціни лляної клітковини, борошна та білкових концентратів. Це свідчить про високу економічну ефективність комплексної переробки лляної макухи, перспективність впровадження розробленої технології у виробничих умовах та можливість отримання стабільного прибутку від реалізації продукції з високою доданою вартістю.

Висновки до розділу

Проведені організаційно-економічні розрахунки підтвердили доцільність виконання досліджень, спрямованих на обґрунтування технології переробки макухи з насіння льону олійного. Загальна вартість проведення наукових досліджень з урахуванням матеріальних витрат, заробітної плати, нарахувань на оплату праці, витрат на електроенергію, амортизаційних

відрахувань, накладних витрат та нормативної рентабельності становила 14434,20 грн.

Розрахунок техніко-економічних показників виробництва сипких продуктів із лляної макухи показав можливість отримання трьох видів продукції функціонального призначення: лляної клітковини, лляного борошна та білкового концентрату. Встановлено, що основними складовими виробничих витрат є вартість сировини та пакувальних матеріалів, тоді як витрати на електроенергію, утримання обладнання та амортизацію мають незначну частку у структурі собівартості.

За результатами розрахунків виробнича собівартість 1 кг готової продукції становить 21,87 грн, що є значно нижчим показником порівняно з поточними ринковими цінами аналогічної продукції в Україні. Лляна клітковина реалізується за ціною близько 100–120 грн/кг, лляне борошно – 55–197 грн/кг, а білкові концентрати рослинного походження мають ще вищу ринкову вартість. Це свідчить про високий рівень конкурентоспроможності розробленої продукції та значний потенціал отримання прибутку від її виробництва.

Таким чином, комплексна переробка лляної макухи дозволяє не лише раціонально використовувати вторинну сировину олієжирової галузі, а й отримувати харчові інгредієнти з високою доданою вартістю. Запропонована технологія є економічно ефективною, відповідає сучасним принципам ресурсозбереження та безвідходного виробництва та може бути рекомендована до впровадження на підприємствах харчової промисловості.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Процес пресування суттєво впливає на хімічний склад насіння льону олійного. У дослідженій макусі з насіння льону олійного порівняно з вихідним насінням спостерігалось підвищення вмісту протеїну та мінеральних речовин, а також зберігалася значна кількість залишкової олії. Це підтверджує високу поживну цінність лляної макухи та доцільність її подальшої переробки як перспективної сировини для виробництва функціональних харчових інгредієнтів та продуктів підвищеної біологічної цінності.

2. У результаті подрібнення та фракціонування макухи з насіння льону олійного встановлено, що переважна частина продукту (80,40 %) представлена фракцією з розміром частинок 0,20–0,56 мм. Вихід крупної та дрібнодисперсної фракцій був значно меншим і становив відповідно 10,81 та 8,79 %. Отримані результати свідчать про ефективність обраного режиму подрібнення та формування переважно однорідного продукту, придатного для подальшої переробки та використання у харчовій промисловості.

3. Встановлено, що подрібнення та фракціонування макухи з насіння льону олійного дозволяє отримати продукти з різними фізико-хімічними та функціональними властивостями. Дослідження кольорових характеристик показало, що зі зменшенням розміру частинок зростає світлість фракцій та знижується інтенсивність червоного відтінку, що позитивно впливає на їх товарний вигляд та розширює можливості використання у складі харчових продуктів. Встановлено суттєвий вплив гранулометричного складу на хімічний склад фракцій. Дрібнодисперсна фракція характеризувалася найвищим вмістом протеїну (47,62 %) та олії (17,14 %), тоді як крупна фракція містила найбільшу кількість клітковини (16,60 %). Це свідчить про можливість цілеспрямованого використання окремих фракцій залежно від їх функціонального призначення.

Розрахунок поживної та енергетичної цінності показав, що зі зменшенням розміру частинок підвищуються вміст білків, жирів та

калорійність продукту. Найвищою поживною цінністю характеризувалася дрібнодисперсна фракція, енергетична цінність якої становила 441,30 ккал/100 г. Порівняльний аналіз із промисловими аналогами підтвердив конкурентоспроможність отриманих продуктів. Зразок №1 доцільно розглядати як джерело харчових волокон, зразок №2 – як борошністий інгредієнт для хлібобулочних та кондитерських виробів, а зразок №3 – як білково-ліпідний концентрат для функціонального, дієтичного та спортивного харчування. Отримані результати підтверджують доцільність комплексної переробки макухи з насіння льону олійного та перспективність її використання для виробництва нових харчових інгредієнтів з високою поживною та біологічною цінністю.

4. Загальні рекомендації для підприємств харчової промисловості:

- Впроваджувати технології фракціонування макухи після пресового видобування лляної олії з метою отримання продуктів різного функціонального призначення.
- Розглядати макуху не як побічний продукт виробництва, а як цінну вторинну сировину з високою доданою вартістю.
- Використовувати отримані фракції для розроблення нових видів функціональних харчових продуктів, збагачених білком, харчовими волокнами та поліненасиченими жирними кислотами.
- Забезпечувати зберігання отриманих продуктів у герметичній упаковці з обмеженим доступом кисню та світла для запобігання окисненню залишкової лляної олії.
- Рекомендувати використання фракціонованої лляної макухи як вітчизняної альтернативи імпортним білковим концентратам та харчовим волокнам.

5. У результаті проведеного аналізу встановлено, що під час переробки макухи з насіння льону олійного на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, як органічний пил, шум, вібрація,

підвищена температура обладнання, електричний струм та хімічні реагенти. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, підтримувати справний стан обладнання, забезпечувати ефективну вентиляцію та дотримуватися вимог електро- та пожежної безпеки. Розроблена картка безпеки праці містить основні вимоги щодо безпечного виконання технологічних операцій та профілактики виробничого травматизму. Встановлено, що відходи переробки лляної макухи мають органічне походження і можуть бути використані як кормова сировина, компонент органічних добрив або матеріал для компостування. Дотримання вимог охорони праці та екологічної безпеки забезпечує безпечну роботу персоналу, раціональне використання вторинної сировини та зменшення негативного впливу виробництва на навколишнє середовище.

6. Проведені організаційно-економічні розрахунки підтвердили доцільність виконання досліджень, спрямованих на обґрунтування технології переробки макухи з насіння льону олійного. Загальна вартість проведення наукових досліджень з урахуванням матеріальних витрат, заробітної плати, нарахувань на оплату праці, витрат на електроенергію, амортизаційних відрахувань, накладних витрат та нормативної рентабельності становила 14434,20 грн.

Розрахунок техніко-економічних показників виробництва сипких продуктів із лляної макухи показав можливість отримання трьох видів продукції функціонального призначення: лляної клітковини, лляного борошна та білкового концентрату. Встановлено, що основними складовими виробничих витрат є вартість сировини та пакувальних матеріалів, тоді як витрати на електроенергію, утримання обладнання та амортизацію мають незначну частку у структурі собівартості.

За результатами розрахунків виробнича собівартість 1 кг готової продукції становить 21,87 грн, що є значно нижчим показником порівняно з поточними ринковими цінами аналогічної продукції в Україні. Лляна клітковина реалізується за ціною близько 100–120 грн/кг, лляне борошно – 55–

197 грн/кг, а білкові концентрати рослинного походження мають ще вищу ринкову вартість. Це свідчить про високий рівень конкурентоспроможності розробленої продукції та значний потенціал отримання прибутку від її виробництва.

Таким чином, комплексна переробка лляної макухи дозволяє не лише раціонально використовувати вторинну сировину олієжирової галузі, а й отримувати харчові інгредієнти з високою доданою вартістю. Запропонована технологія є економічно ефективною, відповідає сучасним принципам ресурсозбереження та безвідходного виробництва та може бути рекомендована до впровадження на підприємствах харчової промисловості.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Горач О.О., Чурсіна Л.А., Домбровська О.П. Інноваційні напрями використання насіння льону олійного та екологічна безпека харчової продукції. Формування нової парадигми розвитку агропромислового сектору в ХХІ столітті: колективна монографія: у 2 ч. / відп. за вип. О. В. Аверчев. Львів; Торунь: Ліга-Прес, 2021. Ч. 2. С. 593–619.
2. Олійний льон в Україні: відновлення ринку та зростання експорту до ЄС. *Всеукраїнський аграрний журнал «АгроЕліта»*. URL: <https://agroelita.info/oliynyy-lon-v-ukraini-vidnovlennia-rynku-ta-zrostannia-eksportu-do-yes/> (дата звернення: 06.05.2026 р.).
3. Crops and livestock products: Linseed (Area harvested / Production). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (дата звернення: 06.05.2026 р.).
4. Верещагін І.В., Кандиба Н.М., Сташко М.Р., Недогибченко А.С. Насіння льону (*Linum usitatissimum* L.) як цінний харчовий ресурс. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2021. №1. С. 18–26.
5. Dzuvor C.K.O., Taylor J.T., Acquah C., Pan S., Agyei D. Bioprocessing of Functional Ingredients from Flaxseed. *Molecules*. 2018. Vol. 23, №10. Art. 2444.
6. Хомич Г.П., Наконечна Ю.Г., Олійник Л.Б., Молчанова Н.Ю., Гнітій Н.В. Інноваційні інгредієнти в технології січених м'ясних напівфабрикатів. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія «Технічні науки»*. 2026. №1. С. 25–32.
7. Бондаренко Ю.В., Андронович Г.М., Грищенко А.М., Анич А.М. Застосування операції гідратації насіння льону у виробництві пшеничного хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2020. Т. 26, №2. С. 232–243.
8. Shekhara Naik R., Anurag A.P., Prakruthi M., Mahesh M. Flax Seeds (*Linum usitatissimum*): Nutritional Composition and Health Benefits. *Journal of Nutrition Metabolism and Health Science*. 2020. Vol. 3, №2. P. 35–40.

9. Petraru A., Amariei S., Senila L. Flaxseed Oilcake: An Ingredient with High Nutritional Value in the Realization of Innovative Food Products. *Foods*. 2025. Vol. 14, №7. Art. 1087.
10. Горач О.О. Шляхи підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Т. 14, №1. С. 1–15.
11. Nowak W., Jeziorek M. The Role of Flaxseed in Improving Human Health. *Healthcare*. 2023. Vol. 11, №3. Art. 395.
12. Kunutsor S.K., Jassal D.S., Ravandi A., Lehoczki A. Dietary flaxseed: Cardiometabolic benefits and its role in promoting healthy aging. *Geroscience*. 2025. Vol. 47, №3. P. 2895–2923.
13. Parikh M., Netticadan T., Pierce G.N. Flaxseed: its bioactive components and their cardiovascular benefits. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*. 2018. Vol. 314, №2. P. H146–H159.
14. De Silva S.F., Alcorn J. Flaxseed Lignans as Important Dietary Polyphenols for Cancer Prevention and Treatment: Chemistry, Pharmacokinetics, and Molecular Targets. *Pharmaceuticals*. 2019. Vol. 12, №2. Art. 68.
15. Wirkijowska A., Zarzycki P., Sobota A., Nawrocka A., Blicharz-Kania A., Andrejko D. The Possibility of Using By-Products from the Flaxseed Industry for Functional Bread Production. *LWT – Food Science and Technology*. 2020. Vol. 118. Art. 108860.
16. Лялик А., Бейко Л., Кухтин М., Покотило О. Використання лляної олії у виробництві харчових продуктів. *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99 (3). С. 78–83.
17. Горач О.О., Домбровська О.П. Споживчі властивості олії, одержаної з насіння льону олійного. Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених та студентів, 17–18 листопада 2021 р. Хмельницький: ХНУ, 2021. С. 171–176.

18. Sá A.G.A., Pacheco M.T.B., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Sustainable Protein Processing of Flaxseed By-Product: Nutritional Quality and Functional Properties. *Food Frontiers*. 2025. Vol. 6, №5. P. 2269–2280.
19. Лозова Т.М. Сучасні наукові дослідження нових способів поліпшення якості і зберігання хліба. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2022. №32. С. 52–58.
20. Chaikivskyi T., Zbarzhevetska A. Використання продуктів переробки льону у харчовій промисловості. *Академічні візії*. 2023. № 19. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/388>.
21. Дробот В.І., Іжевська О.П., Бондаренко Ю.В. Дослідження впливу шроту льону на якість хліба. *Зернові продукти і комбікорми*. 2015. Т. 1, №57. С. 42–45.
22. Бондаренко Ю.В., Дробот В.І., Білик О.А., Білас Я.І. Використання урбечу з насіння льону у виробництві пшеничного хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23, №3. С. 228–237.
23. Sanmartin C., Taglieri I., Venturi F. et al. Flaxseed Cake as a Tool for the Improvement of Nutraceutical and Sensorial Features of Sourdough Bread. *Foods*. 2020. Vol. 9, No. 2. Art. 204.
24. Євлаш В.В., Газзаві-Рогозіна Л.В., Сєногонова Л.І. Удосконалення технології печива пісочного з використанням лляного борошна. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2021. Вип. 1 (33). С. 187–198.
25. Сова Н., Худайбердієва К., Коваленко Н., Михненко І. Використання борошна із насіння нішевих культур у технології виробництва кексів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях*. 2021. №4 (10). С. 94–100.
26. Боковець С.П. Використання нетрадиційної сировини рослинного походження у технології безглютенового тіста для вареників. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Т. 14, №2.

27. El-Waseif M., Saed B., Fahmy H. et al. Mayonnaise Enriched with Flaxseed Oil: Omega-3 Fatty Acids Content, Sensory Quality and Stability during the Storage. *Foods*. 2022. Vol. 11, No. 15. Art. 2288.

28. Yaver E., Güneş E., Adıyaman N. Flaxseed Mucilage as a Functional Egg Replacer in the Preparation of Mayonnaise: Stability, Physicochemical, and Sensory Properties. *Journal of Food Science*. 2026. Vol. 91, No. 5. Art. e71140.

29. Куриленко Ю., Куракін О. Використання рослинної сировини у якості стабілізатора в технології функціональних майонезних соусів. *Innovations and Technologies in the Service Sphere and Food Industry*. 2023. №2 (8). С. 40–46.

30. Борсолюк Л., Войцехівська Л., Вербицький С., Лизова В. Дослідження фізико-хімічних і технологічних властивостей рослинної сировини у складі функціональних паштетних продуктів. *Продовольчі ресурси*. 2017. №5 (09). С. 126–135.

31. Свідло К.В., Карпенко Л.К., Пересічна С.М., Мамченко Л.Є. Технологія комбінованих фаршевих виробів із м'яса птиці оздоровчого призначення. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2021. №28. С. 43–51.

32. Сорт льону олійного Водограй. Каталог сортів та гібридів. Інститут олійних культур НААН України. URL: <https://imk.zp.ua/index.php/kataloh-sortiv-ta-hibrydiv/lon-oliinyi/135-vodohray>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ФРАКЦІЙ
ПОДРІБНЕНОЇ ЛЯНОЇ МАКУХИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Науково-дослідний центр біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК
Випробувальний центр



201727
Випробування

Юридична адреса: вул. Сергія Єфремова,
25, м. Дніпро, Україна, 49600

Фактична адреса: вул. Мандриківська,
276, м. Дніпро, Україна, 49100

+38 (095) 063 05 31

+38 (096) 093 03 76

info@biosafety-center.com



Затверджую
Директор НДЦ, технічний керівник ВЦ

Дмитро Масюк

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ
№ НТ/13714 від 11.06.2026

Замовник: ФОП Кіт Олександр Миколайович

Підприємство: Сова Н.А.

Об'єкт випробування та реєстраційний код зразків: Насіння льону (26/05/411/A/1); Макуха ляна (26/05/411/B/1); Макуха ляна (подрібнена) фракція №1 (26/05/411/C/1); Макуха ляна (подрібнена) фракція №2 (26/05/411/C/2); Макуха ляна (подрібнена) фракція №3 (26/05/411/C/3)

Замовлення: Рахунок №К/26/06/001 від 01.06.2026

Дата відбору зразків: 1 червня 2026 р.

Дата одержання зразків: 1 червня 2026 р.

Дата проведення випробувань: 1 червня 2026 р. - 11 червня 2026 р.

Акт відбору зразків: -

Випробування на відповідність вимогам: Фактичне значення

Результати випробувань

Насіння льону (26/05/411/A/1)

Показник, що визначали	Результат	Норма	НД на методи випробувань	Невизначеність вимірювання ***	Відмітка про відповідність
Сира зола, %**	1,97	-	ДСТУ ISO 5984:2004	не визначали	-
Сира клітковина, %**	20,63	-	ДСТУ 8844:2019	не визначали	-
Сирий жир, %**	41,44	-	ДСТУ ISO 6492:2003	не визначали	-
Сирий протеїн, %	25,01	-	ДСТУ 7169:2010	не визначали	-

Макуха ляна (26/05/411/B/1)

Показник, що визначали	Результат	Норма	НД на методи випробувань	Невизначеність вимірювання ***	Відмітка про відповідність
Сира зола, %**	4,0	-	ДСТУ ISO 5984:2004	не визначали	-
Сира клітковина, %**	9,33	-	ДСТУ 8844:2019	не визначали	-
Сирий жир, %**	12,46	-	ДСТУ ISO 6492:2003	не визначали	-
Сирий протеїн, %	38,41	-	ДСТУ 7169:2010	не визначали	-

Макуха ляна (подрібнена) фракція №1 (26/05/411/C/1)

Показник, що визначали	Результат	Норма	НД на методи випробувань	Невизначеність вимірювання ***	Відмітка про відповідність
Сира зола, %**	3,50	-	ДСТУ ISO 5984:2004	не визначали	-
Сира клітковина, %**	15,26	-	ДСТУ 8844:2019	не визначали	-
Сирий жир, %**	12,72	-	ДСТУ ISO 6492:2003	не визначали	-
Сирий протеїн, %	30,15	-	ДСТУ 7169:2010	не визначали	-

Макуха ляна (подрібнена) фракція №2 (26/05/411/C/2)

Показник, що визначали	Результат	Норма	НД на методи випробувань	Невизначеність вимірювання ***	Відмітка про відповідність
Сира зола, %**	4,04	-	ДСТУ ISO 5984:2004	не визначали	-
Сира клітковина, %**	9,57	-	ДСТУ 8844:2019	не визначали	-
Сирий жир, %**	13,84	-	ДСТУ ISO 6492:2003	не визначали	-
Сирий протеїн, %	39,67	-	ДСТУ 7169:2010	не визначали	-

Макуха ляна (подрібнена) фракція №3 (26/05/411/C/3)

ВЦ НДЦ БЕКР АПК ДДАЕУ ОПФ 7.8-02 «Протокол випробувань» Сторінка 1 з 2
Видання №05 Дата 07-2025

www.biosafety-center.com

Показник, що визначали	Результат	Норма	НД на методи випробувань	Невизначеність вимірювання ***	Відмітка про відповідність
Сира зола, %**	4,18	-	ДСТУ ISO 5984:2004	не визначали	-
Сира клітковина, %**	4,91	-	ДСТУ 8844:2019	не визначали	-
Сирий жир, %**	15,85	-	ДСТУ ISO 6492:2003	не визначали	-
Сирий протеїн, %	44,03	-	ДСТУ 7169:2010	не визначали	-

Відповідальні виконавці:

Завідувач відділу фізіології, біохімії та хіміко-токсикологічного аналізу, к.вет.н.



Валентин Єфімов

Молодший науковий співробітник сектору фізико-хімічних методів досліджень



Лілія Тамчук

Провідний фахівець сектору фізико-хімічних методів досліджень



Ольга Севаст'янова

Примітки:

1. Цей протокол випробувань відноситься тільки до зразків, які пройшли випробування та в тому вигляді, в якому їх було отримано.

2. Цей протокол випробувань не підлягає тиражуванню, як повністю так і частково, без дозволу ВЦ НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК ДДАЕУ.

* об'єкт, НД на метод випробувань не внесений до сфери акредитації відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019.

** - показник не внесений до сфери акредитації відповідно до ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019.

*** - невизначеність вимірювання вноситься до протоколу, якщо вона стосується достовірності чи застосування результатів випробувань, якщо цього вимагає інструкція замовника, або невизначеність впливає на відповідність встановленим межам специфікації.

“КІНЕЦЬ ДОКУМЕНТУ”