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 виробництва олії з насіння чіа

Виконала: здобувачка вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-2-22
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____Вікторія ТИЩЕНКО

Керівник: _____Наталія СОВА

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 ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Тищенко Вікторії Андріївні

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології виробництва олії з насіння чіа».
Керівник роботи: Сова Наталія Анатоліївна, кандидатка технічних наук, доцентка, 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 чіа та пресування олійної сировини.

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 чіа як олійної сировини. 3) Прилади і обладнання, використані в дослідженні. 4) Схема одержання дослідних зразків олії із насіння чіа. 5) Результати експериментальних досліджень. 6) Картка безпеки праці оператора лінії з виробництва олії із насіння чіа. 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	доцентка СОВА Наталія	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	Оглядовий 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	

Здобувачка вищої освіти _____ Вікторія ТИЩЕНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Наталія СОВА

РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування технології виробництва олії з насіння чіа».

Кваліфікаційна робота бакалавра: 68 с., 11 рисунків та ілюстрацій, 11 таблиць, 59 літературних джерел.

Об’єкт дослідження – насіння чіа та процес видобування олії шляхом механічного пресування в різних температурних режимах.

Предмет дослідження – закономірності впливу температури пресування насіння чіа на ефективність видобування олії, її показники якості (кислотне число, колірні характеристики).

Мета роботи – обґрунтувати вплив температурних режимів пресування насіння чіа на вихід та якість олії, встановити оптимальний температурний режим, який забезпечує максимальний вихід олії без погіршення її показників якості.

Методи дослідження включали визначення масової частки вологи насіння чіа, макухи, масової частки вологи та летких речовин олії шляхом висушування наважки за температури 105 (±2) °С до сталої маси, використовуючи ваги-вологомір «RADWAG MA 110 R»; пресування насіння чіа з фіксацією температурних режимів у діапазоні від 40 °С до 130 °С; очищення вилученої олії за допомогою центрифугування; визначення колірних характеристик у системі CIE Lab* за допомогою портативного колориметра «Linshang LS173»; визначення кислотного числа олії титрометричним аналізом; оцінка вмісту залишкової олії в макусі методом екстракції в апараті Сокслета; статистична обробка отриманих даних.

У кваліфікаційній роботі досліджено вплив температурного режиму шнекового пресування на ефективність видобування та якість олії з насіння чіа. Проведено аналіз хімічного складу вихідної сировини. Встановлено закономірності зміни виходу неочищеної та очищеної олії, залишкового вмісту олії у макусі, вологості макухи, масової частки осаду, масової частки вологи та летких речовин, кислотного числа та колірних характеристик олії залежно від температури пресування в діапазоні 40–130 °С. Встановлено, що підвищення температури пресування до 100 °С сприяє зростанню виходу очищеної олії до максимального значення 23,0 %, тоді як подальше підвищення температури призводить до зниження ефективності процесу та погіршення показників якості олії. Виявлено, що високі температури спричиняють збільшення кислотного числа, зростання залишкової олійності макухи та зміни колірних характеристик, що свідчить про розвиток термоокиснювальних процесів. Обґрунтовано раціональний температурний режим пресування насіння чіа, який забезпечує високий вихід олії та збереження її якісних показників. Розроблено рекомендації щодо переробки насіння чіа у виробничих умовах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

НАСІННЯ ЧІА, ОЛІЯ, ТЕМПЕРАТУРА ПРЕСУВАННЯ, ВИХІД ОЛІЇ, КОЛІРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЛІЇ, КИСЛОТНЕ ЧИСЛО ОЛІЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП 5
1 ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ 8
1.1 Характеристика чіа 8
1.2 Характеристика насіння чіа 12
1.3 Технологія переробки насіння чіа 15
1.4 Характеристика олії насіння чіа 18
Висновки до розділу 22
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ 24
Висновки до розділу 29
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ 30
Висновки до розділу 41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 45
4.1 Розробка картки безпеки праці 45
4.2 Екологічна безпека та раціональне поводження з побічними продуктами переробки насіння чіа 47
Висновки до розділу 49
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ 51
5.1 Розрахунок вартості дослідження 51
5.2 Техніко-економічні показники виробництва олії з насіння чіа 55
Висновки до розділу 56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ 57
БІБЛІОГРАФІЯ 61
ДОДАТКИ 68

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку харчової промисловості спрямовані на пошук нових джерел рослинної сировини з високою біологічною цінністю та розроблення технологій її комплексної переробки. Особливий інтерес у цьому напрямі викликає насіння чіа (*Salvia hispanica L.*), яке завдяки унікальному хімічному складу належить до найбільш перспективних функціональних культур сучасності. Упродовж останніх років попит на насіння чіа та продукти його переробки стабільно зростає як в Україні, так і у світі, що пов'язано зі збільшенням споживання продуктів здорового та профілактичного харчування.

Насіння чіа характеризується високим вмістом олії (25–35 %), білка (15–25 %), харчових волокон (до 35–40 %), антиоксидантів, вітамінів та мінеральних речовин. Особливу цінність становить олія чіа, яка є одним із найбагатших рослинних джерел α-ліноленової кислоти (ω-3). Частка цієї жирної кислоти може перевищувати 60 % від загальної кількості жирних кислот, що значно перевищує показники більшості традиційних олійних культур. Завдяки цьому олію чіа розглядають як перспективний функціональний інгредієнт для профілактики серцево-судинних захворювань, нормалізації ліпідного обміну та підвищення антиоксидантного захисту організму.

Актуальність виробництва олії з насіння чіа обумовлена також обмеженою кількістю природних джерел ω-3 жирних кислот рослинного походження. У сучасному харчуванні населення часто спостерігається дефіцит цих біологічно цінних сполук, що негативно впливає на стан здоров'я населення. Тому створення технологій отримання високоякісної олії чіа дозволяє розширити асортимент функціональних харчових продуктів та забезпечити населення цінними нутрієнтами.

Не менш важливим є питання комплексної переробки насіння чіа. Після видобування олії утворюється макуха, яка містить значну кількість білка,

клітковини, мінеральних речовин та залишкової олії. Завдяки цьому її можна використовувати як сировину для виробництва білкових концентратів, харчових волокон, борошна та інших функціональних інгредієнтів. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність використання сировини та реалізувати принципи безвідходного виробництва.

Важливим науковим завданням є дослідження впливу технологічних параметрів виробництва олії, зокрема температури пресування, способів підготовки сировини та режимів очищення, на вихід олії та збереження її біологічно активних компонентів. Відомо, що надмірний тепловий вплив може призводити до окиснення поліненасичених жирних кислот та зниження поживної цінності продукту, тоді як недостатня інтенсивність обробки зменшує ефективність вилучення олії. Тому встановлення оптимальних параметрів виробництва є важливою передумовою отримання конкурентоспроможної продукції високої якості.

Отже, переробка насіння чіа, зокрема виробництво олії та раціональне використання продуктів, що утворюються після її видобування, є актуальним науковим та практичним напрямом. Її розвиток сприятиме розширенню асортименту функціональних харчових продуктів, підвищенню ефективності використання рослинної сировини, створенню продукції з високою доданою вартістю та впровадженню принципів сталого розвитку у харчовій промисловості.

Об’єкт дослідження – насіння чіа та процес видобування олії шляхом механічного пресування в різних температурних режимах.

Предмет дослідження – закономірності впливу температури пресування насіння чіа на ефективність видобування олії, її показники якості (кислотне число, колірні характеристики).

Мета роботи – обґрунтувати вплив температурних режимів пресування насіння чіа на вихід та якість олії, встановити оптимальний температурний режим, який забезпечує максимальний вихід олії без погіршення її показників якості.

Завдання наукових досліджень:

– проаналізувати вихідну сировину;

– визначити вихід неочищеної та очищеної олії за температур пресування насіння чіа 40–130 °С та встановити температурний режим, за якого досягається максимальна ефективність видобування олії;

– визначити масову часту вологи та вміст залишкової олії у макусі із насіння чіа;

– дослідити вплив температури пресування насіння чіа та процесу очищення олії на колірні характеристики олії;

– визначити масову частку вологи та летких речовин у олії, отриманій за різних температурних режимів пресування;

– дослідити зміни кислотного числа олії залежно від температури пресування насіння чіа та визначити температурні межі, що забезпечують мінімальне гідролітичне псування;

– на основі комплексного аналізу отриманих експериментальних даних встановити раціональний температурний режим пресування насіння чіа та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо його впровадження у виробничих умовах.

1 ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика чіа

Шавлія іспанська (рис. 1.1) загально відома як чіа (*Salvia hispanica L.*) належить до родини Глухокропивові або Губоцвіті (*Labiatae*) і походить з регіонів Мексики та Гватемали. Насіння чіа має широкий спектр використання, в основному його застосовують у харчовій промисловості в якості: функціонального компоненту, олійної культури, джерела цінних полісахаридів (забезпечують здатність до набухання, є природним гідроколоїдом), сировини для виготовлення безглютенового борошна, білкової добавки. Пророщене насіння вживають як мікрозелень [1–4].



Рисунок 1.1 – Шавлія іспанська

Цю рослину культивують вже більш як 5500 років. За довгу історію існування чіа вирощували ацтеки, майя та у стародавніх культурах Месопотамії, але потім, після іспанського завоювання ацтеків та накладеннння 260-річної заборони на використання для вживання, воно зникло на сотні років, аж до середини 20 ст, коли його було відкрито наново. Саме завдяки

фермерам у гірських регіонах південно-західної частини Мексики чіа збереглось до часів, коли висока поживна цінність та адаптивність привернула інтерес широкого загалу до забутої культури. На рис. 1.2 зображено сільськогосподарські території, площі, на яких вирощували чіа [5].

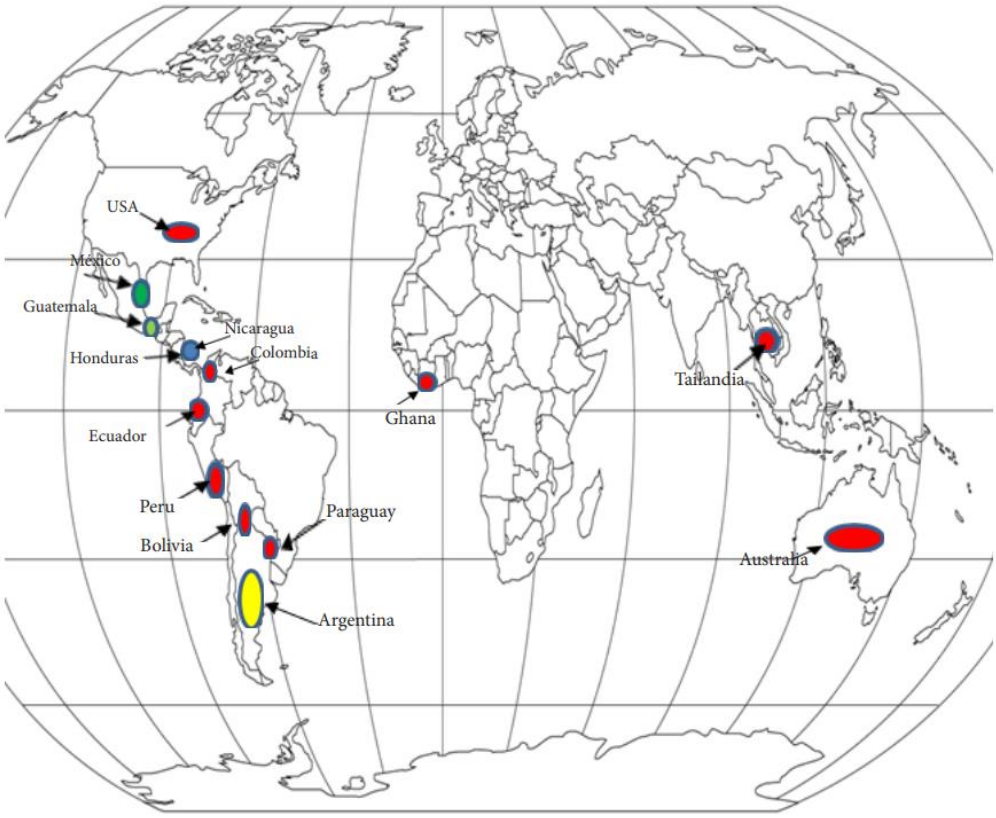


Рисунок 1.2 – Історичне поширення культури чіа у світі: зелений колір – ранній доколумбовий період (3500 р. до н. е. – 1000 р. н. е.); синій – пізній доколумбовий період (1000 р. н. е. – 1500 р. н. е.); жовтий – післяколумбовий період (1500–2000 рр. н. е.); червоний – сучасний період (з 2010 року до сьогодні)

Слово «чіа» походить від слова «Chian» з ацтецкої мови науатль, що означає «маслянистий». Інша частина найменування *Salvia hispanica* (лат. *salvia* – рятувати або лікувати, *hispanica* – іспанська) була надана рослині Карлом Ліннеєм, який відкрив цю дикорослу рослину в Новому Світі та помилково вважав її місцевим видом походженням з Іспанії. Однак чіа походить з Мексики і була завезена до Іспанії Христофором Колумбом [3, 5].

Сорти чіа офіційно реєструють переважно через національні системи селекції та реєстрації насіння. Існує кілька регіональних місцевих та сучасних сортів, що відрізняються за кольором насіння, вмістом олії та чутливістю до фотоперіоду. «Tzotzil» (традиційний мексиканський сорт, біле насіння), «Q1» (болівійський сорт з високим вмістом олії), «Jalisco Black» (мексиканський сорт з темним насінням, багатий на харчові волокна), «Tarija» (болівійський сорт), Misr 1 (єгипетський сорт, має різнокольорове насіння). Для забезпечення можливості вирощування чіа у нетипових умовах, деякі країни розробили нечутливі до фотоперіоду сорти – Heartland (США, біле або чорне насіння), Sahi Alba 911 та Sahi Alba 912 (Перу), Alba Sahi 914 (Аргентина), Oruro (Франція) [6–8].

Salvia hispanica L. – це однорічна трав'яниста короткоденна рослина, яка походить із Південної Мексики та Північної Гватемали і пристосована до умов тропічних та субтропічних кліматичних зон. Рід *Salvia* налічує приблизно 900 видів, які протягом тисячоліть широко поширилися в різних регіонах світу, включаючи Південну Африку, Центральну Америку, Північну та Південну Америку, а також Південно-Східну Азію [1, 9, 10, 11].

Як повідомляють в літературі, сьогодні чіа культивують не тільки в Мексиці та Гватемалі, але й в Австралії, Болівії, Колумбії, Перу, Аргентині, Америці та Європі. На сьогодні найбільшим у світі виробником чіа вважають Парагвай, клімат якого ідеально підходить для вирощування цієї рослини у промислових масштабах [12–14].

В Україні наразі немає зареєстрованих сортів чіа, але активно проводяться дослідження на базі профільних кафедр та інститутів. Науковці нині досліджують два сорти, що створили пристосованими до умов кліматичної зони України – пізньостиглий зі смугастим насінням та фіолетовим суцвіттям, ранньостиглий з біло-кремовим насінням та білим суцвіттям [15].

За морфобіологічною характеристикою шавлія іспанська має чотиригранне стебло з простими, супротивними, хрестоподібно

розташованими листками, багаторічним стрижневим, з шорсткою поверхнею, темно-коричневого кольору, з опушенням, з волокнистим зрізом. На ньому є кілька коротких, звужених придаткових коренів, стеблом і листям, а також суцвіттям типу несправжньої мутовки із двогубими квітками. *S. hispanica* можна морфологічно відрізнити від *Salvia columbariae Benth*. (золоте чіа, або ж пустельне чіа) за морфологією листя та суцвіття. Листя у *S. hispanica* просте, суцвіття типове для роду [16].

Архітектоніка *Salvia hispanica L.* визначає особливості збору та переробки як насіння, так і вегетативної біомаси. Доросла рослина зазвичай досягає висоти 1–1,5 м і формує потужне, прямостояче стебло з вираженою чотиригранною структурою та супротивним розташуванням гілок, що характерно для родини *Lamiaceae*. Анатомічно стебло укріплене розвиненими тяжами коленхіми в кутах, що надає йому високої механічної міцності проти вилягання. Листки рослини довгочерешкові, серцеподібно-овальні або ланцетні, з дрібнозубчастим краєм; їхня поверхня покрита залозистими та простими трихомами. Суцвіття являють собою щільні верхівкові або пазушні колосоподібні тирси, що складаються з несправжніх мутовок (вертициластрів), де формуються дрібні двогубі квітки переважно фіолетового або білого кольору. Уся надземна частина рослини є джерелом ефірних олій та поліфенолів, локалізованих у секреторних структурах епідермісу, що відкриває перспективи її використання для екстракції біологічно активних речовин у харчовій промисловості [17, 18].

Розвиток надземних органів тісно пов'язаний із будовою підземної частини, оскільки первинний морфогенез та укорінення проростків детермінують загальну продуктивність культури. Коренева система *S. hispanica* є стрижневою, проте характеризується інтенсивним галуженням і формуванням густої сітки бічних корінців у верхніх шарах ґрунту. Особливості раннього онтогенезу свідчать, що швидкість росту головного кореня та площа сім'ядольних листків на ювенільному етапі є вирішальними факторами для стабільного накопичення сухої речовини пагонів [17].

1.2 Характеристика насіння чіа

Зрілий плід рослини після цвітіння розпадається на чотири дрібні ерими (насіння чіа) овальної форми, довжиною близько 2 мм. Забарвлення насінини варіюються з поєднанням чорного, сірого, коричневого та білого кольорів. Анатомічна специфіка оболонки цих плодів полягає в наявності клітин епідермісу з високим умістом олігосахаридів. При контакті з вологою під час дозрівання або технологічної обробки ці структури миттєво утворюють стійкий гідроколоїдний шар (муцилаж), що безпосередньо впливає на реологічні показники систем, у які вноситься насіння або продукти його подрібнення [17–19].

Насіння чіа вважають суперпродуктом завдяки високій поживній цінності, що зумовлює високий попит та інтерес до цієї культури. Особливі корисні властивості насіння чіа зумовлені вмістом ω-3 жирних кислот. Воно є джерелом білка, харчових волокон, ліпідів, вітамінів та мінералів. На хімічний склад та поживну цінність насіння чіа впливають кліматичні умови, географічне розташування, мінеральні речовини, температура, стан ґрунту та рік вирощування Завдяки вмісту різноманітних фітохімічних речовин чіа все частіше отримує назву золоте насіння 21 сторіччя [20–23].

Анатомічна архітектоніка насінини *Salvia hispanica L.* характеризується чіткою пошаровою диференціацією, яка безпосередньо обумовлює її фізико-хімічні та технологічні властивості. Зовнішня частина представлена складною за структурою насіннєвою оболонкою (тестою), що складається з чотирьох основних шарів: епідермісу, гіподерми, шару склеренхімних клітин та внутрішнього пігментного шару. Ключовою особливістю епідермальних клітин є наявність потовщених слизових клітин, які при гідратації зазнають швидкої волюметричної трансформації. Внутрішній простір насінини майже повністю займає масивний зародок із двома розвиненими сім'ядолями, тоді як ендосперм є сильно редукованим і представлений лише одним рядом клітин

(алейроновим шаром). Завдяки такій щільній паренхіматозній структурі сім'ядолей, основні поживні речовини надійно захищені від зовнішнього впливу, що вимагає застосування деструктивних методів підготовки сировини (наприклад, нетермічного мікронізування або ультразвукової дезінтеграції) для інтенсифікації процесів подальшої екстракції цільових компонентів [24].

Візуалізація анатомічних шарів насіння *S. hispanica* дозволяє чітко диференціювати три ключові структурні зони: зовнішню насіннєву оболонку (перикарпій/тесту), вузький проміжний шар ендосперму та внутрішню паренхіму сім’ядолей (рис. 1.3). На мікрофотографіях поперечного зрізу (c-f) добре помітно, що клітини епідермісу оболонки мають специфічну видовжену або дископодібну форму; саме вони відповідають за депонування та подальшу секрецію екзополісахаридного слизу при контакті з рідким середовищем. Безпосередньо під оболонкою простежується щільний і компактний шар клітин ендосперму, який межує з об'ємною матрицею сім’ядолей, де паренхіматозні клітини повністю заповнені дрібними внутрішньоклітинними включеннями – ліпідними краплями та білковими тільцями [25].

На мікроструктурному рівні всередині клітин сім'ядолей та алейронового шару зосереджені основні запасаючі матриці: ліпідні краплі (олеосоми) та білкові тільця (протеїнопласти). Протеїновий комплекс насіння чіа відзначається високою біологічною цінністю та специфічним фракційним складом, де домінують високомолекулярні глобуліни та альбуміни, тоді як проламіни та глютеліни присутні в значно меншій кількості. Цікавим анатомо-технологічним аспектом є те, що білкові тільця часто містять утворення – глобоїди, збагачені фітиновою кислотою та мінеральними елементами. У процесі переробки, зокрема при гідротермічній або ферментативній обробці, білки паренхіми легко вступають у взаємодію з полісахаридами оболонки, що дозволяє отримувати стійкі емульсійні системи [23, 27, 28].

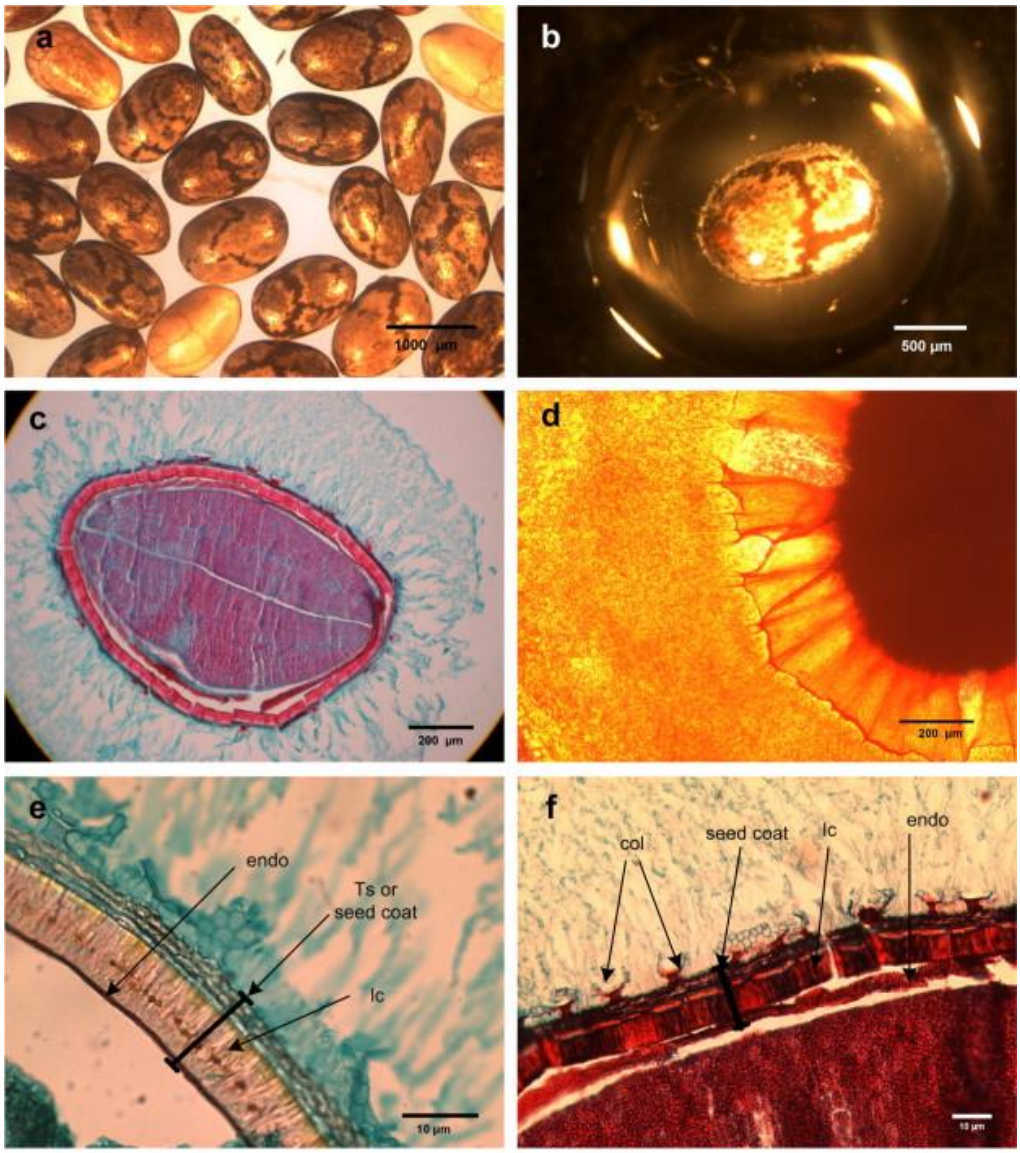


Рисунок 1.3 – Насіння чіа – оптичні зображення

За біохімічним складом насіння чіа містить 30–35 % жиру, 30–40 % клітковини (харчових волокон та гідроколоїдних слизів), 15–26 % білка, 5–7 % вологи та близько 4–5 % золи. У ліпідній фракції насіння абсолютно переважають поліненасичені жирні кислоти (80–85 % від загальної кількості ліпідів), де найбільший відсоток припадає саме на α-ліноленову кислоту (ω-3), вміст якої становить 60–65 %. Водночас сумарна кількість насичених жирних кислот у жировому профілі є мінімальною і стабільно обмежується на рівні до 10 %, що в сукупності з високим вмістом біоактивних сполук зумовлює

потужний терапевтичний потенціал, унікальні гідратаційні та текстурні властивості цієї культури [1–5, 9, 11, 19–23, 25, 26, 28, 29].

1.3 Технологія переробки насіння чіа

Насіння *Salvia hispanica* L. визнане одним із найперспективніших функціональних інгредієнтів у сучасній нутриціології завдяки унікальному нутрієнтному профілю та вираженим оздоровчим властивостям. Споживання чіа стійко асоціюється зі зниженням ризику розвитку серцево-судинних захворювань, метаболічного синдрому та цукрового діабету 2-го типу. Цей терапевтичний ефект зумовлений синергічною дією високого вмісту поліненасичених жирних кислот (зокрема, α-ліноленової), дієтичних волокон, які стабілізують рівень глюкози в крові та нормалізують ліпідний обмін, а також антиоксидантного комплексу. Останній включає хлорогенову та кавову кислоти, кверцетин і кемпферол, які не лише нейтралізують вільні радикали *in vivo*, але й захищають ліпідну фракцію насіння від пероксидного окиснення [29, 30].

Технологічна переробка насіння чіа вимагає специфічних підходів через його унікальні морфологічні особливості, насамперед через високу здатність епідермісу до миттєвої гідратації. Первинні етапи переробки стандартно включають очищення сировини від домішок, сепарацію та калібрування. Важливим технологічним завданням є правильне подрібнення (мікронізація) насіння, оскільки неушкоджена щільна оболонка перешкоджає засвоєнню нутрієнтів у шлунково-кишковому тракті та ускладнює подальшу екстракцію ліпідів. При сухому розмелюванні утворюється цільнозернове борошно, однак процес вимагає суворого температурного контролю (найчастіше застосовують кріогенне подрібнення), щоб запобігти термічній деструкції термолабільних ω-3 жирних кислот [31, 32].

Для отримання ізольованих компонентів – олії, слизу (муцилажу) та білково-вуглеводних концентратів – застосовують складніші схеми фракціонування. Процес часто ускладнюється утворенням високов'язких гелів при найменшому контакті насіння з водою, що робить традиційні методи мокрої переробки та сепарації неефективними. Тому сучасні технології орієнтуються на використання нетермічних або комбінованих методів впливу, таких як ультразвукова кавітація, мікрохвильова екстракція або ферментативний гідроліз. Ці підходи дозволяють дестабілізувати клітинні стінки та підвищити вихід цільових фракцій без погіршення їхніх структурно-механічних властивостей [31, 32].

Одним із найцінніших продуктів такого фракціонування є муцилаж чіа – розчинна екзополісахаридна фракція. Для його добування традиційно застосовують екстракцію за оптимізованих параметрів температури (зазвичай 50–80 °C) з використанням слабокислої, слаболужної або нейтральної води, після чого слідує осадження етанолом та сублімація, або сушіння на повітрі, або сушіння у печі. З фізіологічної точки зору, екстрагований слиз діє як високоефективний пребіотик та розчинне харчове волокно. У травному тракті він формує в'язкий гель, який уповільнює ферментативний гідроліз вуглеводів, знижуючи глікемічний індекс спожитих продуктів, а також зв'язує жовчні кислоти, сприяючи ефективному виведенню холестерину з організму та контролю маси тіла [33, 34].

У харчовій промисловості слиз та частково гідратоване насіння чіа активно впроваджуються як багатофункціональні натуральні гідроколоїди, стабілізатори, загусники та замінники жиру у складі різноманітних харчових матриць. Завдяки високій водоутримувальній і гелеутворювальній здатності екзополісахаридного комплексу, ця сировина має значний потенціал для оптимізації технологічних процесів та підвищення біологічної цінності готової продукції. У хлібопекарському виробництві додавання муцилажу покращує реологічні властивості тіста, збільшує водопоглинальну здатність, забезпечує більшу пористість та м'якість м'якушки, а також уповільнює

процеси черствіння. Схожий текстураційний ефект спостерігається і в кондитерській галузі: при виготовленні цукерок та інших десертів введення продуктів переробки насіння чіа дозволяє частково замінити традиційні рецептурні компоненти (зокрема цукор або жирову фазу), збагатити вироби дієтичними волокнами та досягти необхідних структурно-механічних показників без погіршення органолептичних властивостей. Водночас у виробництві кисломолочних продуктів (насамперед йогуртів) муцилаж ефективно діє як стабілізатор системи, запобігаючи синерезису та формуючи кремоподібну, гомогенну текстуру [35–38].

Окремим перспективним напрямком є використання високих емульгувальних властивостей гідроколоїдів *S. hispanica* для стабілізації гетерогенних харчових систем, таких як соуси та м'ясні емульговані продукти. У технології виробництва майонезів введення слизу чіа або продуктів його гідратації дозволяє отримати стійку дрібнодисперсну структуру «олія-вода», запобігаючи її руйнуванню та коалесценції під час зберігання. Це відкриває можливості для створення низькокалорійних майонезних емульсій зі зниженим вмістом холестерину за рахунок заміни частини яєчного жовтка або синтетичних стабілізаторів. Аналогічно, у технології м'ясних продуктів, зокрема ковбас і сосисок, гідратоване насіння або ізольований слиз успішно застосовують для часткової заміни тваринного жиру. Таке технологічне рішення не лише знижує загальну калорійність готового виробу, але й підвищує стабільність м'ясної емульсії, зменшуючи втрати вологи під час термічної обробки та забезпечуючи оптимальні пружно-еластичні характеристики продукту [39–41].

Окрім вуглеводної фракції, ключовим напрямком глибокої переробки насіння чіа є добування ліпідної фракції. Олію переважно отримують методом холодного пресування або за допомогою надкритичної екстракції діоксидом вуглецю, що дозволяє уникнути ізомеризації поліненасичених кислот та зберегти нативні антиоксиданти. Побічним, але надзвичайно цінним продуктом цього процесу є знежирена макуха (шрот), яка становить значний

інтерес для створення збагачених харчових систем. Цей залишок характеризується високою концентрацією повноцінного рослинного білка та нерозчинних харчових волокон, тому знежирене борошно з макухи чіа перспективно використовувати для підвищення біологічної цінності безглютенових продуктів, екструдованих снеків та спеціалізованого спортивного харчування, реалізуючи таким чином концепцію безвідходної переробки сировини [31, 32, 42].

1.4 Характеристика олії насіння чіа

Олія насіння чіа (*Salvia hispanica* L.) є одним із найперспективніших рослинних джерел поліненасичених жирних кислот, що зумовлює її високу цінність для сучасної індустрії функціональних продуктів, фармакології та косметології. Середній вихід олії з насіння коливається в межах 30–34 % від сухої маси сировини. Ця ліпідна фракція відзначається унікальним біохімічним профілем, де ключове значення має високий рівень α-ліноленової кислоти (ω-3). Нативна олія має легку рухливу текстуру, прозора з блідо-жовтим або приємним золотистим відтінком та характерний слабкий горіховий аромат. Попри високий ступінь ненасиченості, присутність природних антиоксидантів (токоферолів, поліфенолів та фітостеролів) забезпечує їй відносну первинну стабільність, хоча тривалий вплив світла, кисню та підвищених температур неминуче ініціює процеси автоокиснення [43].

Фізико-хімічні константи олії чіа відображають високий ступінь її структурної чистоти та виражену ненасиченість хімічних зв'язків. Олія характеризується низькими початковими значеннями кислотного та пероксидного чисел у свіжоекстрагованому стані, що вказує на мінімальну концентрацію вільних жирних кислот та первинних продуктів деградації ліпідів. Водночас надзвичайно високе йодне число (192–204 г I_2/100 г)

безпосередньо підтверджує значну концентрацію подвійних зв'язків у вуглеводневих ланцюгах. Специфічною теплофізичною особливістю продукту є порівняно низька точка димлення (близько 107–110 °C), через що олію чіа категорично не рекомендується піддавати прямій високотемпературній кулінарній обробці (смаженню), оскільки це призводить до миттєвої деструкції ω-3 кислот та накопичення токсичних перекисних сполук. Основні фізико-хімічні показники наведено в табл. 1.1. [21, 43–45].

Таблиця 1.1 – Фізико-хімічні характеристики олії з насіння чіа

Показник	Джерело, країна походження насіння		
	[43], Австралія	[21], Мексика	[44], Туреччина
Колір у системі CIE Lab*	L = 67,48±2,18 a = -6,56±0,20, b = 28,27±1,81	*	*
Щільність (при 20 °C), г/см^3	*	0,9243±0,0011	0,9199±0,0003
Кислотне число, мг KOH/г	2,54±0,02	2,85±0,76	0,34±0,07
Пероксидне число, мекв O_2/кг	4,33±0,03	3,21±0,38	1,17±0,35
Йодне число, г I_2/100 г	204±4	191,57±0,21	*
Число омилювання, мг KOH/г	197±4	221,47±1,57	218,87±3,67
Всього воску, мг/кг	*	112,27±1,38	112,74±3,76
Неомильні речовини, %	1,12±0,05	0,801±0,023	0,783±0,008
Рефрактивний індекс	1,48±0,00	1,4760±0,0013	*

*значення відповідного параметру не вказане у відповідному літературному джерелі

Головною тенденцією жирнокислотного складу олії *S. hispanica* є абсолютне домінування поліненасичених жирних кислот, які сумарно становлять понад 80 % від загального ліпідного профілю. Зокрема, на частку

α-ліноленової кислоти припадає від 59,8 до 68,7 %, що робить чіа лідером серед рослинних джерел ессенціальних ω-3 факторів (табл. 1.2). Вміст лінолевої кислоти (ω-6) становить близько 19,8–21,6 %, забезпечуючи унікальне, біологічно оптимальне співвідношення ω-3 до ω-6 (приблизно 3:1–4:1), що сприяє зниженню системних запальних процесів в організмі людини при регулярному споживанні. Концентрація насичених жирних кислот (пальмітинової та стеаринової) залишається мінімальною (сумарно до 10 %), що додатково підкреслює дієтичну та кардіопротекторну цінність цієї рослинної олії [21, 43–44, 46].

Таблиця 1.2. – Жирнокислотний склад олії з насіння чіа

Жирна кислота	[43], Австралія	[21], Мексика	[44], Туреччина	[46], Мексика
α-Ліноленова (C18:3, ω-3), %	64,39±2,31	59,84±1,76	68,71±2,21	63,64±0,06
Лінолева (C18:2, ω-6), %	21,46±1,24	20,57±0,65	21,17±1,17	19,84±0,01
Олеїнова (C18:1, ω-9), %	5,68±0,05	10,09±0,57	10,08±0,78	5,50±0,01
Пальмітинова (C16:0), %	6,21±0,05	7,08±0,21	0,07±0,01	7,07±0,01
Стеаринова (C18:0), %	1,89±0,01	2,97±0,15	2,67±0,53	2,81±0,04

Ефективність вилучення олії чіа, її кінцевий кількісний вихід та ступінь збереження нативних біологічно активних речовин критично залежать від обраного технологічного методу. Найбільш поширеним у традиційному та крафтовому виробництві є метод холодного механічного пресування (шнековий віджим). Головною перевагою цього підходу є повна відсутність хімічних реагентів та збереження помірного температурного режиму, що гарантує отримання чистого продукту з низьким початковим пероксидним числом та високим вмістом природних антиоксидантів. Проте метод має суттєвий недолік – обмежену ефективність екстракції; значна частина цінної олії (залишковий вміст у макусі може становити до 10–12 %) залишається зв'язаною в макусі, що знижує загальний вихід готової продукції [46–48].

Для досягнення максимального виходу ліпідів у масштабній промисловості використовують екстракцію органічними розчинниками (найчастіше гексаном), яка забезпечує вилучення до 98 % олії з насіннєвої матриці. Головним недоліком методу є необхідність подальшої термічної дистиляції розчинника, що провокує окисну деградацію лабільних тригліцеридів та суттєво погіршує органолептичні властивості олії. Інноваційні та екологічно безпечні альтернативи включають надкритичну CO_2-екстракцію та екстракцію за підтримки ультразвуку або мікрохвильового випромінювання. Використання надкритичного діоксиду вуглецю дозволяє повністю виключити присутність токсичних залишків і доступ кисню під час процесу, забезпечуючи вичерпний вихід олії високої якості, хоча широке впровадження цієї технології наразі обмежується значною капіталомісткістю обладнання [49–51].

Завдяки вираженому терапевтичному потенціалу, олія з насіння чіа активно інтегрується у сферу фармакології та превентивної медицини. Висока концентрація α-ліноленової кислоти виступає ефективним попередником для ендогенного синтезу довголанцюгових ω-3 жирних кислот, які відіграють вирішальну роль у зниженні рівнів тригліцеридів та ліпопротеїнів низької щільності у плазмі крові. Регулярне споживання або медичне застосування олії чіа супроводжується антиатеросклеротичним ефектом, покращенням еластичності судинної стінки та модуляцією імунної відповіді через пригнічення каскаду протизапальних цитокінів, що робить її цінним інструментом для профілактики серцево-судинних патологій, метаболічного синдрому та хронічних запальних порушень [52, 53].

У косметологічній індустрії олія *S. hispanica* визнана високоефективним нативним емолентом та антиоксидантом. Поліненасичені жирні кислоти олії сприяють відновленню гідроліпідної мантії шкіри та суттєво зменшують трансепідермальну втрату вологи. Наявність значної кількості γ-токоферолу та фенольних сполук забезпечує надійний захист клітинних мембран від руйнівної дії вільних радикалів та ультрафіолетового випромінювання,

сповільнюючи процеси хроно- та фотостаріння шкіри. Олію чіа успішно використовують як активну основу для антивікових кремів, регенеруючих сироваток та спеціалізованих лінійок для відновлення сухого, ламкого й пошкодженого волосся [54, 55].

У харчових технологіях використання олії чіа зосереджене на створенні функціональних харчових продуктів та збагаченні повсякденного раціону ессенціальними ліпідами. Через високу термолабільність ω-3 кислот олію переважно додають у готові холодні страви, салатні заправки або використовують для розробки складних емульсійних систем (соусів, майонезів, йогуртів). Найбільш перспективним технологічним трендом є мікроінкапсуляція олії чіа з використанням білкових матриць або нативних полісахаридів. Процес інкапсулювання дозволяє надійно стабілізувати делікатні жирні кислоти проти окиснення під час зберігання готової продукції, замаскувати специфічні органолептичні відтінки та забезпечити пролонговане вивільнення біоактивних компонентів у шлунково-кишковому тракті, максимізуючи їхню підсумкову біодоступність для організму [56–59].

Висновки до розділу

У результаті аналізу наукових джерел встановлено, що насіння чіа (*Salvia hispanica* L.) є перспективною нетрадиційною олійною культурою, яка характеризується високою поживною, біологічною та технологічною цінністю. Встановлено, що насіння чіа містить значну кількість олії, білка, харчових волокон, мінеральних речовин і біологічно активних сполук, що обумовлює його широке використання у харчовій, фармацевтичній та косметичній галузях. Особливу цінність становить високий вміст поліненасичених жирних кислот, насамперед α-ліноленової кислоти родини ω-3, завдяки чому насіння чіа та продукти його переробки відносять до функціональних харчових інгредієнтів.

Проаналізовано морфологічні, анатомічні та біохімічні особливості насіння чіа, які визначають специфіку його технологічної переробки.

Встановлено, що важливою особливістю культури є наявність слизоутворюючих клітин оболонки насіння, які формують гідроколоїдний шар при контакті з водою та суттєво впливають на технологічні властивості сировини. Це відкриває перспективи використання насіння чіа як джерела природних загусників, стабілізаторів та емульгаторів для харчової промисловості.

Встановлено, що сучасні технології переробки насіння чіа спрямовані на комплексне використання його основних компонентів – олії, слизу, білкової та волокнистої фракцій. Найбільш цінним продуктом переробки є олія чіа, яка характеризується високим вмістом ω-3 жирних кислот, сприятливим співвідношенням ω-3 та ω-6 кислот, а також наявністю природних антиоксидантів. Разом із тим ефективність її отримання та якість значною мірою залежать від способу екстракції та технологічних параметрів процесу.

Проведений огляд літератури показав, що найбільш поширеним способом одержання олії є механічне пресування, яке забезпечує отримання натурального продукту високої якості, проте супроводжується втратами частини олії у макусі. При цьому температура процесу є одним із ключових факторів, що впливає на вихід олії, її фізико-хімічні показники та ступінь збереження біологічно активних речовин. Незважаючи на значну кількість досліджень, питання оптимізації технологічних режимів виробництва олії з насіння чіа залишається недостатньо вивченим.

Таким чином, аналіз літературних джерел підтвердив актуальність досліджень, спрямованих на обґрунтування технології виробництва олії з насіння чіа та встановлення раціональних режимів її отримання, що забезпечують максимальний вихід готового продукту та збереження його високої біологічної цінності.

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Стрімке зростання світового попиту на функціональні інгредієнти, де головним технологічним вектором стає саме ефективне видобування ліпідної фракції, зумовлює актуальність теми дослідження. Оскільки насіння чіа містить 30–35 % олії і є унікальним джерелом ессенціальних поліненасичених жирних кислот, максимізація виходу олії становить першочерговий інтерес. Проте існуючі промислові методи стикаються з технологічною дилемою: традиційне холодне пресування хоч і зберігає якість, але залишає до 10–12 % цінної олії у зв'язаному стані в макусі, тоді як ефективна екстракція розчинниками потребує термічної дистиляції, що провокує окисну деградацію лабільних ліпідів. Тому наукове обґрунтування та оптимізація параметрів видобування олії є критично важливим завданням для забезпечення максимального кількісного виходу без втрати її біологічної цінності.

З точки зору біохімічного складу, олія насіння чіа володіє беззаперечними перевагами завдяки переважному домінуванню поліненасичених жирних кислот (понад 80 %), серед яких на частку α-ліноленової кислоти (ω-3) припадає 59,8–68,7 %. У поєднанні зі значним вмістом природних антиоксидантів (γ-токоферолу та поліфенолів) це формує унікальний терапевтичний профіль продукту. Для промисловості та ринку загалом ці характеристики відкривають привабливі перспективи: олія чіа виступає високомаржинальною сировиною, яка активно інтегрується у виробництво дієтичних добавок, антивікової косметики та функціональних харчових систем. Суттєвим плюсом для виробників є також можливість реалізації концепції безвідходної переробки: після видобування олії залишається макуха, багата на повноцінний рослинний білок та нерозчинні харчові волокна, що є цінною базою для створення спортивного чи безглютеного харчування.

З критичного аналізу літературних джерел маємо, що на сьогодні вітчизняні наукові дослідження переважно спрямовані на використання цілого

чи гідратованого насіння, добування екзополісахаридного слизу або використання цільнозернового борошна як добавок у хлібопекарській, кондитерській чи м’ясопереробній галузях. Водночас питання обґрунтування оптимальних режимів добування саме нативної олії розкривається неповністю. Це створює суттєву науково-технологічну прогалину, адже олія чіа відзначається високою термолабільністю та має порівняно низьку точку димлення (близько 107–110 °C). За таких умов дія підвищених температур неминуче призводить до миттєвої деструкції ω-3 жирних кислот та накопичення токсичних перекисних сполук.

Дослідження впливу температурних режимів на оптимальність вилучення ліпідної фракції чіа дозволило б визначити параметри технологічного процесу, за якого зменшується термодеструктивний вплив на біологічно цінні ненасичені жирні кислоти та фітохімічні речовини в складі олії чіа, що запобігає посиленню окиснювання через збільшення кількості продуктів розпаду.

У межах тематики «Обґрунтування технології виробництва олії з насіння чіа» визначено такі завдання дослідження:

– проаналізувати вихідну сировину;

– визначити вихід неочищеної та очищеної олії за температур пресування насіння чіа 40–130 °C та встановити температурний режим, за якого досягається максимальна ефективність видобування олії;

– визначити масову часту вологи та вміст залишкової олії у макусі із насіння чіа;

– дослідити вплив температури пресування насіння чіа та процесу очищення олії на колірні характеристики олії;

– визначити масову частку вологи та летких речовин у олії, отриманій за різних температурних режимів пресування;

– дослідити зміни кислотного числа олії залежно від температури пресування насіння чіа та визначити температурні межі, що забезпечують мінімальне гідролітичне псування;

– на основі комплексного аналізу отриманих експериментальних даних встановити раціональний температурний режим пресування насіння чіа та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо його впровадження у виробничих умовах.

Перед початком експериментальних робіт проводили оцінку якості досліджуваної сировини – насіння чіа чорне торгової марки «Сто пудів» країна походження Паргвай. Вміст вологи у насінні визначали гравіметричним методом – висушування наважки матеріалу за температури 105±2 °С до досягнення сталої маси за допомогою вагів-вологоміра «Radwag MA110 R». Визначення масової частки олії в насінні здійснювали методом екстракції в апараті Сокслета. Вміст клітковини в насінні визначали вилученням з продукту кислотно-лужно-розчинних речовин за допомогою системи «Fibrebag» та встановленням маси залишку, вміст протеїну – методом К’єльдаля.

Одержання дослідних зразків олії здійснювали із застосуванням лабораторного шнекового пресу «Oil Extractor OP-600 M». Підготовчий етап передбачав повний демонтаж апарату та ретельне видалення з його робочих зон решток раніше обробленої сировини, після чого його знову монтували. Обладнання попередньо прогрівали до температурного режиму, заданого для конкретного досліду (в інтервалі 40–130 °С). З метою роздільного збору продуктів віджиму встановлювали індивідуальні резервуари для олії та макухи, а потім наважку насіння подавали в приймальний патрубок пресу. По завершенню процесу пресування вимірювали підсумкову вагу отриманої нефільтрованої олії та твердого залишку. Показник ефективності видобування олії обчислювали як математичне співвідношення маси одержаної сирої олії до показнику олійності насіння чіа чорного.

Очищення вилученої олійної фракції здійснювали шляхом обробки на лабораторній центрифузі «MICROmed CM-3 M» протягом 15 хв при швидкості обертання 3000 об/хв. По завершенню цього процесу вимірювали масу очищеної олії, а також розраховували масову частку осаду. Задля оцінки якості

отриманого продукту методом титрування встановлювали його кислотне число. Ключовим змінним фактором дослідження було обрано температуру процесу видобування олії, яка варіювалася в межах 40–130 °С із кроком у 10 °С з незмінною частотою обертання шнека пресу 65 об/хв. Кожну серію дослідів дублювали тричі. Математичну верифікацію отриманих результатів виконували із застосуванням дисперсійного аналізу даних (ANOVA).

Схема одержання зразків олії насіння чіа наведена на рис. 2.1. На основі реалізованої схеми досліджень було одержано 10 дослідних зразків олії, вилучених у процесі пресування насіння чіа чорного за температурних режимів від 40 до 130 °С з інтервальним кроком у 10 °С.

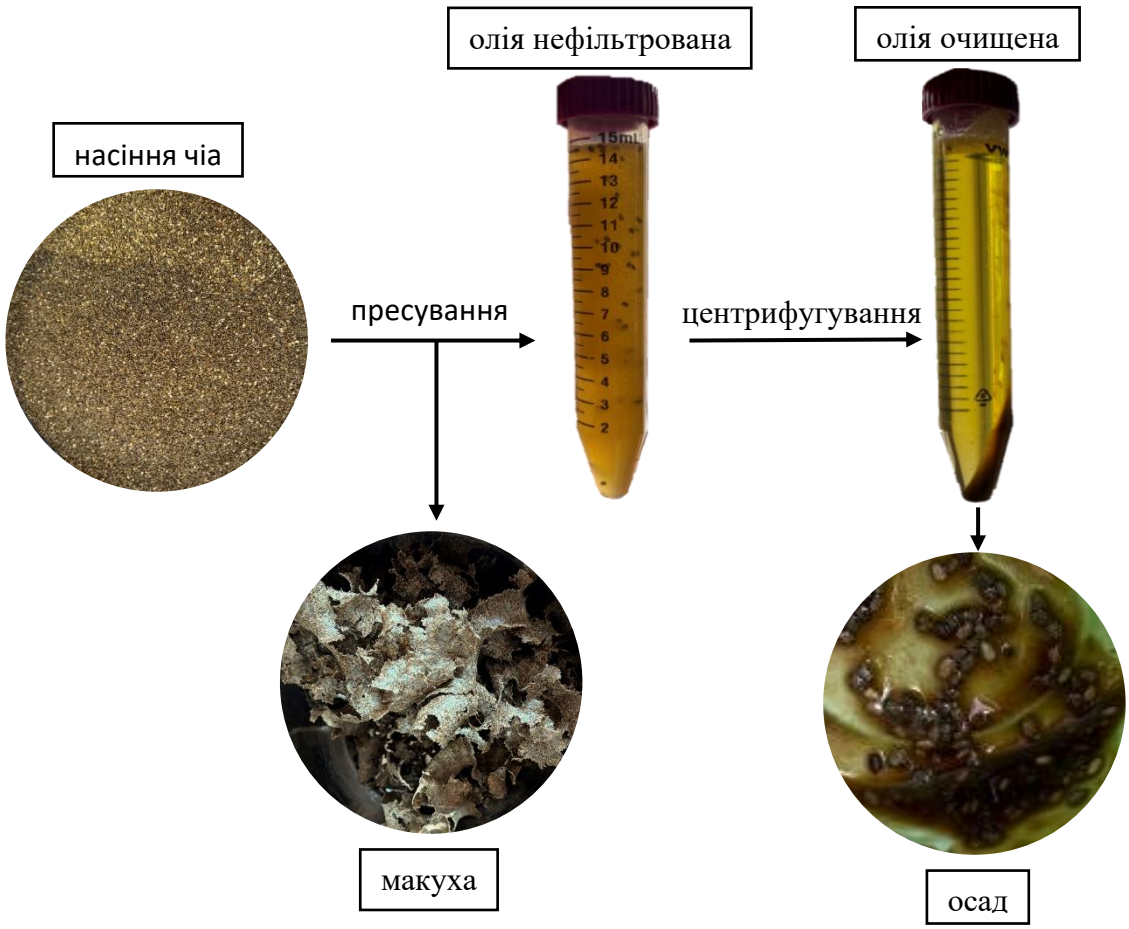


Рисунок 2.1 – Схема одержання дослідних зразків олії насіння чіа

Перелік обладнання та приладів, використаних для бакалаврського дослідження за заданою тематикою наведені на рис. 2.2.

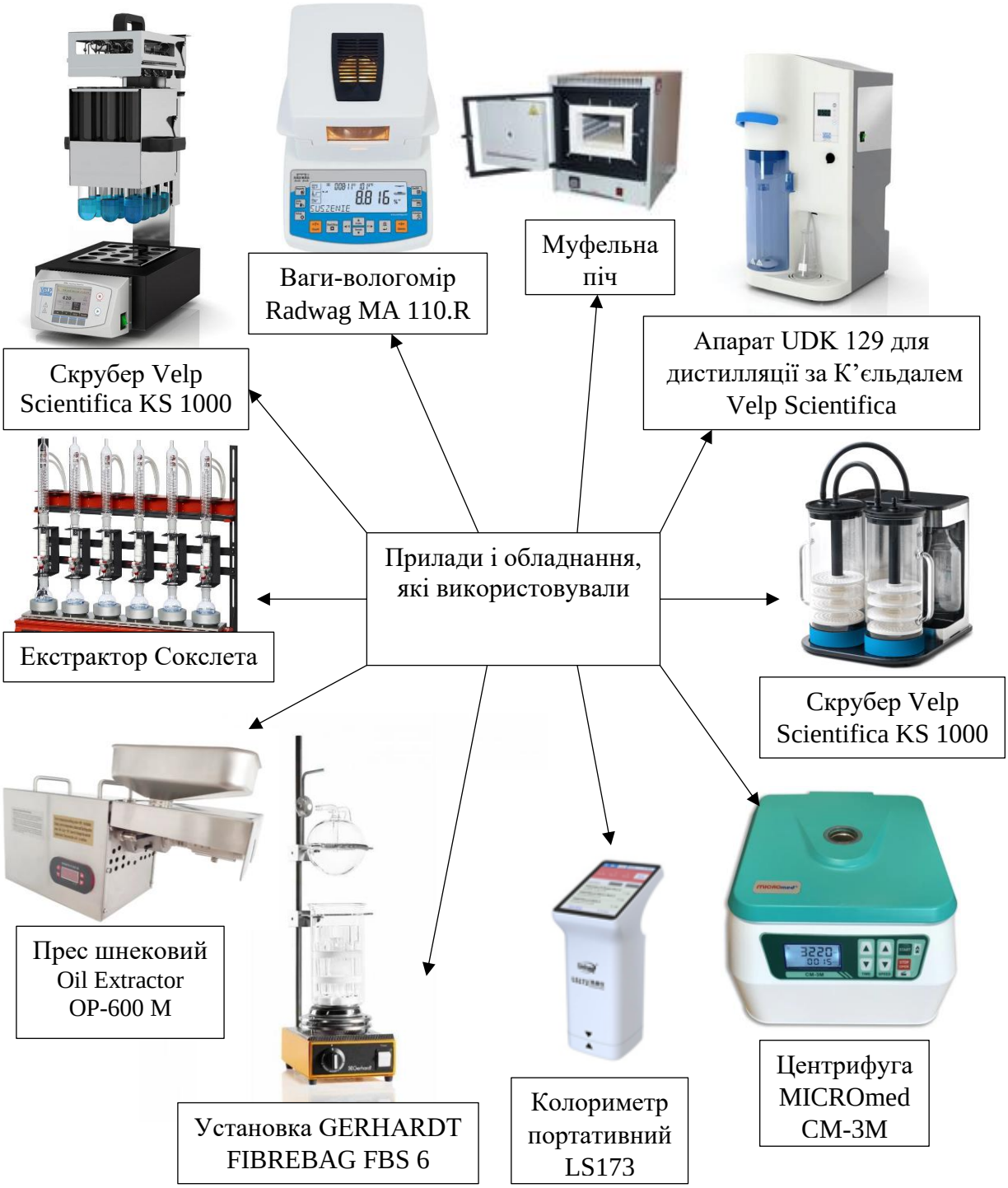


Рисунок 2.2 – Прилади і обладнання, які використовували в ході досліджень

Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу літературних джерел та обґрунтування методики досліджень встановлено, що насіння чіа є перспективною сировиною для виробництва високоякісної рослинної олії завдяки значному вмісту ліпідів та високій концентрації поліненасичених жирних кислот, насамперед α-ліноленової кислоти родини ω-3. Водночас висока термолабільність біологічно активних компонентів обумовлює необхідність оптимізації технологічних параметрів процесу пресування.

На підставі аналізу сучасного стану питання визначено, що температура є одним із ключових факторів, які впливають на вихід олії, її фізико-хімічні показники та ступінь збереження цінних нутрієнтів. Недостатня вивченість оптимальних температурних режимів видобування олії з насіння чіа підтверджує актуальність проведення експериментальних досліджень у цьому напрямі.

Для виконання поставлених завдань розроблено методику досліджень, яка передбачає визначення якості вихідної сировини, отримання зразків олії методом шнекового пресування за температур від 40 до 130 °C, очищення олії центрифугуванням та подальше дослідження її виходу, кольорових характеристик, вологості, вмісту летких речовин та кислотного числа. Також передбачено оцінювання характеристик макухи як побічного продукту переробки.

У результаті реалізації розробленої схеми експерименту отримано десять дослідних зразків олії з насіння чіа, що створює необхідну інформаційну базу для подальшого встановлення раціонального температурного режиму пресування та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо виробництва олії з насіння чіа у промислових умовах.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Дані, отримані в результаті аналізу насіння чіа чорного, яке використовували для видобування олії, наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика насіння чіа чорного

Показник	Значення
Вологість насіння, %	7,302±0,06
Масова частка олії, у перерахунку на суху речовину, %	36,290±0,25
Вміст білку у насінні, %	16,105±1,39
Вміст клітковини у насінні, %	18,055±0,34
Зараженість шкідниками зерна	відсутня

Ефективність процесу пресування та якість отримуваної рослинної олії безпосередньо залежать від структурно-механічних та хімічних властивостей вихідної сировини. Проведені первинні дослідження насіння чіа чорного дозволяють охарактеризувати його технологічний потенціал. Середній вміст вологи у досліджуваних зразках становить 7,302 %, що є оптимальним для олійної сировини, яка направляється на одноразове холодне або теплове пресування. Вода у структурі насіння виступає пластифікатором, і її концентрація в межах 7–8 % забезпечує необхідну еластичність гелеутворювальної оболонки чіа, запобігаючи надмірному подрібненню насіння на борошно під час стиснення та забезпечуючи нормальне просування матеріалу у зеєрній камері преса.

Вміст олії у насінні чіа становив в середньому 36,290 %, що позиціонує його як сировину з середнім вмістом олії. З огляду на масову частку білку, яка дорівнює 16,105 %, та високий вміст клітковини на рівні 18,055 %, внутрішня структура насінини є складним біополімерним комплексом. Клітковина та білкові речовини утворюють міцний капілярно-пористий каркас, який утримує ліпідну фракцію всередині клітинних структур за рахунок адсорбційних та капілярних сил. Наявність значної кількості клітковини також зумовлює

високі абразивні властивості маси під час пресування, що впливає на силу тертя та додаткове саморозігрівання пресового вузла.

Температурний режим шнекового пресування є ключовим фактором, що визначає реологічні властивості ліпідної фракції та твердої фази насіння. Аналіз експериментальних даних демонструє чітку, але нелінійну залежність між температурою пресування та кінцевою кількістю видобутої олії, що видно на рис. 3.1. При термообробці в діапазоні від 40 до 100 °С спостерігалося поступове зростання виходу очищеної олії з 21,8 % до максимального значення 23,0 %. Ця тенденція є термодинамічно обґрунтованою, оскільки підвищення температури супроводжується зниженням динамічної в'язкості олії, послабленням її поверхневого натягу та руйнуванням зв'язків між ліпідами та гідрофільними компонентами клітини насіння чіа.

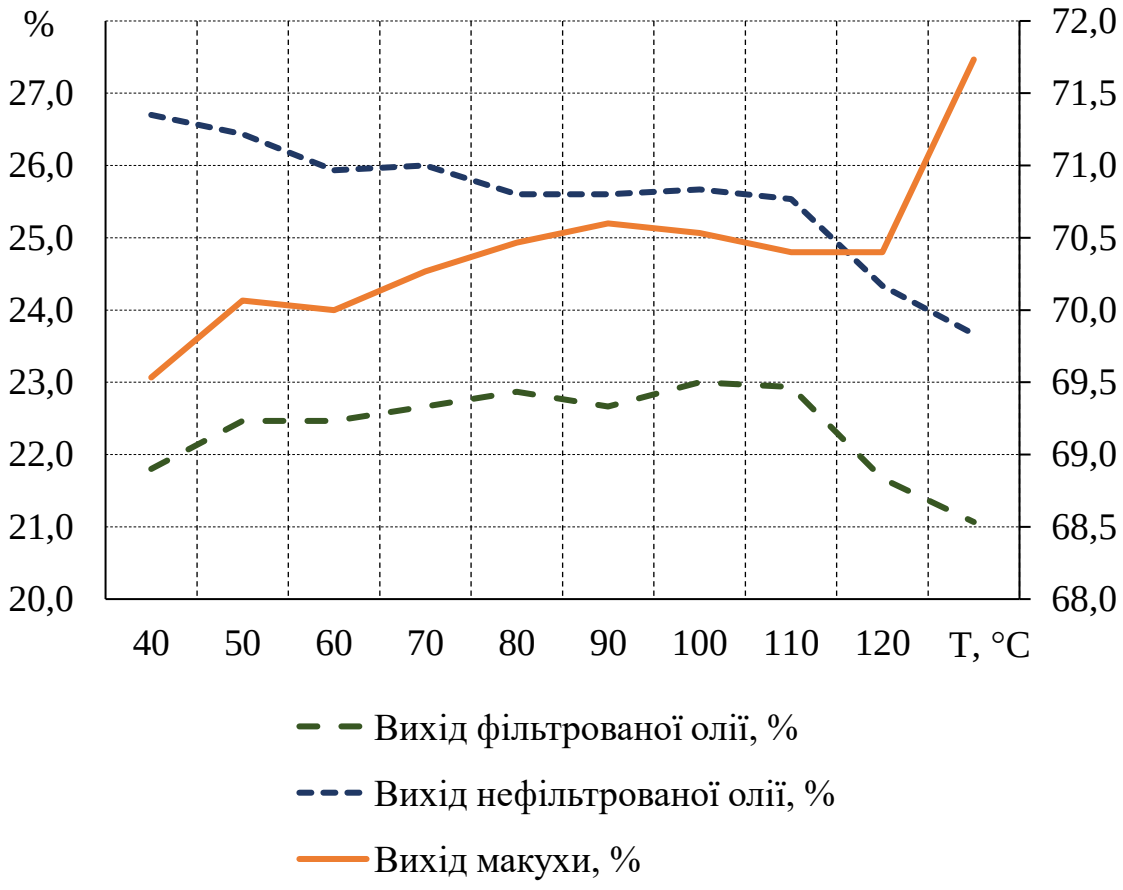


Рисунок 3.1 – Залежність показників ефективності процесу від температури пресування насіння чіа

Однак при досягненні температурного порогу понад 100 °C фіксується стрімке падіння ефективності пресування. При 120 °C вихід фільтрованої олії знижувався до 21,67 %, а при 130 °C падав до мінімального значення 21,07 %. Таке явище пояснюється денатураційними змінами білково-вуглеводного комплексу насіння чіа. Під дією високих температур білки зазнають теплової коагуляції, а слизисті речовини та клітковина втрачають зв'язану вологу, про що свідчить зменшення вологості макухи з 8,34 % при 40 °C до 4,13 % при 130 °C. Тверда фаза стає надмірно жорсткою та сухою, перекриваючи канали шнека та зеєра, через які має витікати рідка фаза.

Прямим підтвердженням зниження ефективності пресування при високих температурах є поступове постійне зростання залишкової олійності макухи. З рисунку 3.2 бачимо, що якщо в інтервалі 40–70 °C вміст олії в макусі коливався в межах 7,57–7,86 %, то починаючи з 80 °C цей показник починав демонструвати стійке зростання. При 100 °C залишкова олійність досягала 9,40 %, а при 130 °C піднімалася до 11,48 %. Це означає, що значна частина найціннішого продукту залишається заблокованою у пресованому залишку через деформацію пористої структури матеріалу та утворення щільних конгломератів, які адсорбують ліпіди назад на поверхню денатурованого білка.

Кількість зважених часток у неочищеній олії виступає важливим критерієм оцінки правильності налаштування зазорів зеєрної камери та температурного розм'якшення сировини. Як показано на рис. 3.3, проведене дослідження виявило високий рівень осаду при мінімальній температурі пресування 40 °C, де його середня масова частка досягла 8,87 %. Причиною цього є висока в'язкість холодної олії, яка під час виходу із зеєра створює значний гідродинамічний опір та механічно виносить із собою дрібні обривки клітинних оболонок, насіннєвих лусок та білкових агломератів. Тверда маса при 40 °C ще не набула необхідної пластичності для формування стабільного пресового брикету, який зазвичай виконує роль додаткового природного фільтрувального шару всередині камери.

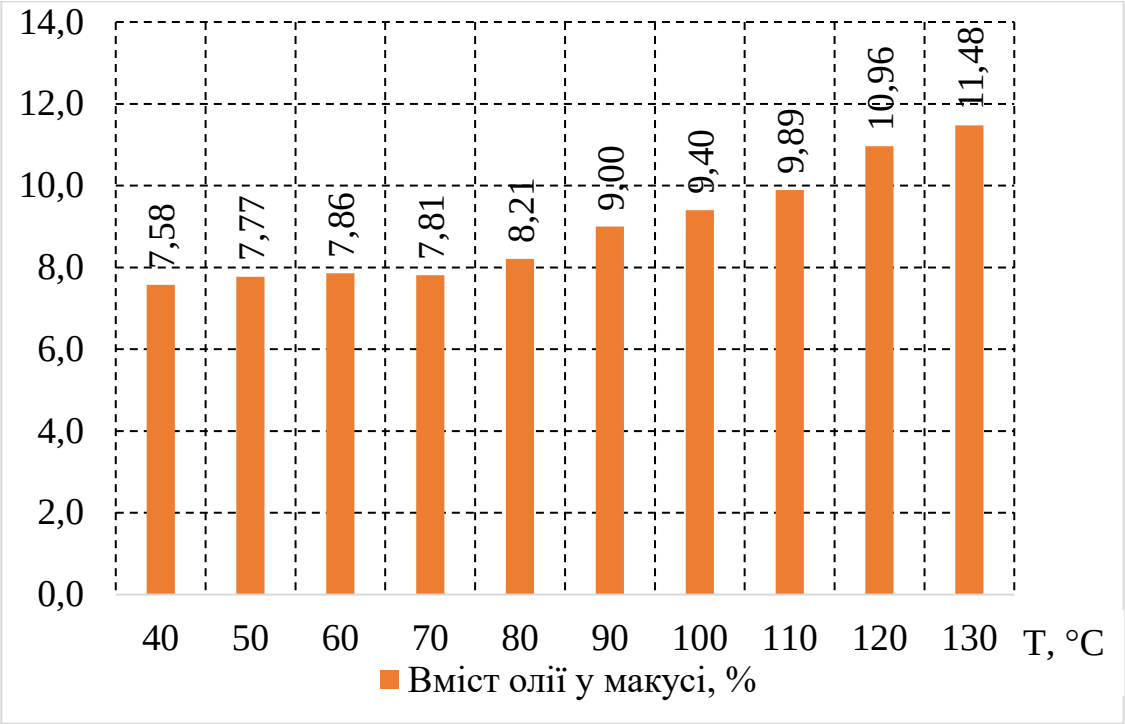


Рисунок 3.2 – Залежність залишкового вмісту олії в макусі від температури пресування насіння чіа

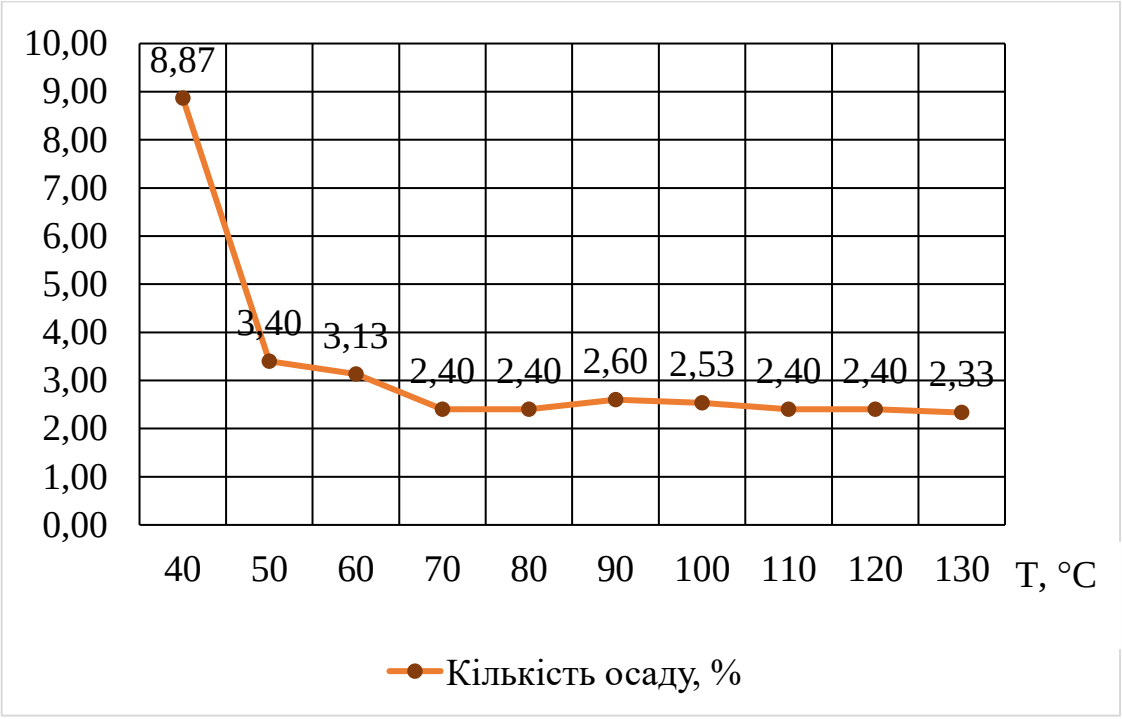


Рисунок 3.3 – Залежність масової частки осаду в олії від температури пресування насіння чіа

Із підвищенням температури до 50 °C кількість осаду різко знижувалася до 3,40 %, а в діапазоні 70–120 °C цей показник стабілізувався на мінімальному рівні 2,40–2,60 %. Таке падіння каламутності та вмісту фузу свідчить про те, що помірне нагрівання сприяє формуванню оптимальної реології матеріалу. Частинки клітин міцно зчеплюються між собою в структуру макухи, а знижена в'язкість рідкої фази дозволяє їй вільно дренувати крізь щілини зеєра, не захоплюючи за собою масивні конгломерати твердої фази. Це суттєво полегшує подальшу стадію первинного очищення та зменшує навантаження на фільтри, знижуючи витрати фільтрувальних матеріалів та мінімізуючи втрати олії із відпрацьованим фільтрувальним осадом.

Кислотне число є найважливішим випереджальним індикатором хімічного псування, що відображає накопичення вільних жирних кислот у результаті гідролітичного розщеплення триацилгліцеринів. Олія з насіння чіа характеризується надзвичайно високим вмістом поліненасичених жирних кислот, зокрема α-ліноленової кислоти, що робить її вкрай чутливою до будь-яких зовнішніх ініціаторів розпаду. Експериментальні дані показують чітку лінійну залежність зростання кислотного числа від підвищення температури пресування сировини.

Як зображено на рис. 3.4, при мінімальному температурному режимі 40 °C кислотне число становило 2,34 мг КОН/г. Зі зростанням температури до 70 °C воно плавно збільшувалося до 2,55 мг КОН/г, що вказує на помірну інтенсифікацію процесів гідролізу під впливом тепла та залишків клітинної вологи сировини. Ця тенденція зберігалася для всіх температурних режимів, де при переході відмітки в 100 °C (2,79 мг КОН/г) та досягненні 130 °C показник сягав свого максимуму – 2,84 мг КОН/г. Таке зростання значень свідчить про суттєве накопичення вільних жирних кислот та є наслідком глибокої термічної деградації ліпідів. Крім того, вільні жирні кислоти виступають прооксидантами, оскільки їхні вільні карбоксильні групи каталізують подальше приєднання кисню до подвійних зв'язків поліненасичених молекул. Таким чином, зразки олії, отримані за температур

110–130 С, матимуть мінімальний термін придатності, швидко накопичуватимуть пероксидні сполуки, втрачатимуть свої лікувально-профілактичні та органолептичні властивості під час зберігання.

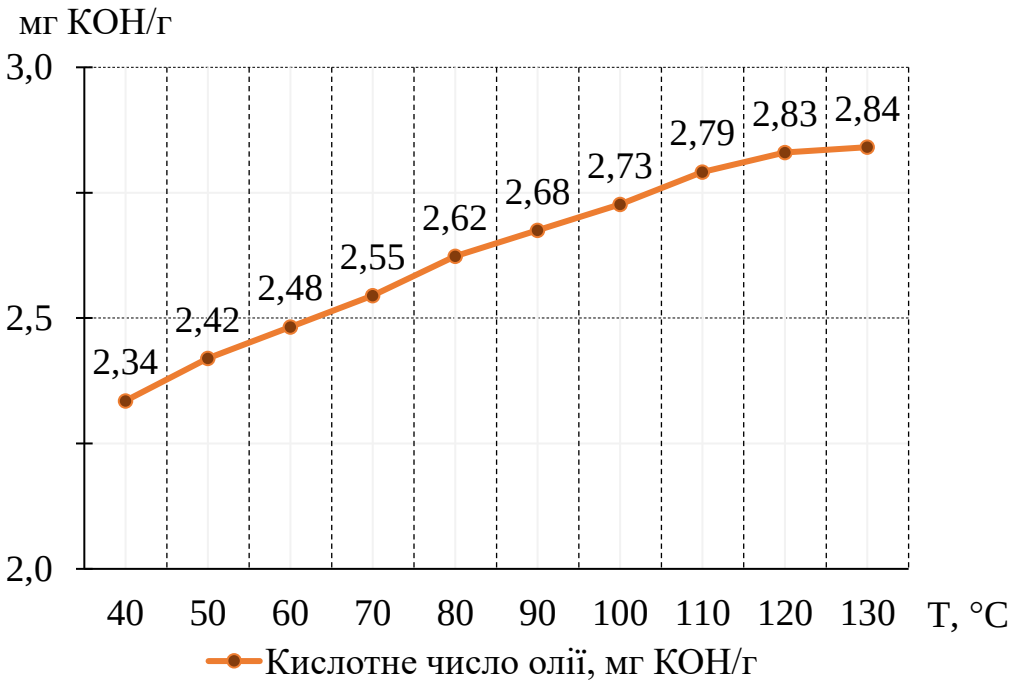


Рисунок 3.4 – Залежність кислотного числа олії в макусі від температури пресування насіння чіа

Об'єктивна оцінка оптичних властивостей рослинних олій є важливим елементом контролю їхньої автентичності, ступеня очищення та перебігу деструктивних процесів. Застосування міжнародної колірної системи CIELab дозволяє визначити найменші коливання за трьома координатами: світлість L, де L = 0 чорний, L = 100 білий; показник a, де a > 0 червоний, a < 0 зелений; показник b, де b > 0 жовтий, b < 0 синій. Порівняльний аналіз оптичних профілів нефільтрованої та фільтрованої олії насіння чіа чорного висвітлює закономірності впливу механічного очищення та температурної деструкції на пігментний комплекс олії.

Для нефільтрованої олії характерні значно нижчі показники світлості порівняно з очищеною фракцією. З табл. 3.2 маємо, що при температурі

пресування 40 °C середнє значення L* для неочищеного продукту становило 45,3, тоді як після очищення цей показник зростав до 51,2. Таке явище спостерігалося в усьому досліджуваному температурному діапазоні. Воно зумовлене видаленням дрібнодисперсних часток та слизистих речовин, які інтенсивно розсіюють та поглинають світловий потік. Динаміка координати L* в процесі нагрівання демонструвала певну флуктуацію, проте для очищеної олії фіксувалася чітка тенденція до потемніння при екстремальних режимах: значення світлості знижувалося з 51,21 при 40 °C до 49,84 при 130 °C. Це безпосередньо вказує на початок процесів термічного обвуглювання мікродомішок та можливу ко-екстракцію темних меланоїдинових сполук, що утворюються у насінні внаслідок реакції Майяра між амінокислотами та редукувальними цукрами при інтенсивному сухому нагріванні.

Таблиця 3.2 – Характеристика оптичних показників олії

Показник	Неочищена олія									
	Температура пресування, °C									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
L*	45,33	45,32	44,96	49,14	45,86	48,80	47,46	49,10	48,01	47,29
a*	0,24	0,15	0,30	-0,56	0,07	-0,52	0,04	-0,48	-0,40	-0,13
b*	14,56	15,02	14,62	12,68	14,02	13,30	14,12	13,84	13,80	14,12
Очищена олія										
L*	51,21	52,40	50,82	51,14	50,42	51,17	50,68	51,00	50,38	49,84
a*	-1,74	-1,63	-1,59	-1,63	-1,36	-1,53	-1,55	-1,36	-1,28	-1,48
b*	13,26	12,43	13,89	12,00	12,15	11,97	14,05	12,79	14,15	14,59

Показник a*, що відповідає за баланс між зеленим та червоним кольорами, зазнав найбільш кардинальних змін у процесі первинного очищення. Неочищена олія мала значення показника a* близькі до 0, коливаючись від -0,56 до 0,30. Це свідчить про домінування слабких червоно-коричневих відтінків, які привносяться частинками оболонки чорного насіння

чіа. Після проведення очищення координата a* повністю переходила у негативну область, стабілізуючись у межах від -1,28 до -1,74. Таке різке зміщення в бік зеленого спектра показує істинний колір очищеної ліпідної матриці насіння чіа, збагаченого хлорофіловими пігментами. При цьому підвищення температури пресування призводило до поступового зміщення показника a* очищеної олії у бік менш негативних значень (від -1,74 при 40 °C до -1,48 при 130 °C), що може бути наслідком часткової термодеструкції хлорофілу або інтенсифікації накопичення ліпофільних продуктів окиснення, які маскують зелений відтінок.

Показник b* демонстрував тенденцію до зростання у очищеній олії за температур понад 100 °C. Якщо в інтервалі помірних температур 40–90 °C величина b* очищеного продукту коливалася в межах 11,97–13,89, то при 120 °C вона піднімалася до 14,15, а при 130 °C досягала максимуму на рівні 14,59. Зростання частки жовтого кольору за умов жорсткого термічного оброблення корелює із накопиченням первинних та вторинних продуктів автоокиснення ліпідів (альдегідів, кетонів), а також є наслідком глибшого розчинення каротиноїдних пігментів сировини під впливом високої кінетичної енергії системи.

Процес шнекового пресування супроводжується складним перерозподілом та випаровуванням вологи, що міститься у вихідній капілярно-пористій структурі насіння чіа. Дослідження динаміки зміни масової частки вологи у твердому залишку (макусі) свідчить про наявність вираженого процесу термічного зневоднення. Із даних рис. 3.5 бачимо, що при початковій вологості насіння 7,302 % макуха, отримана за мінімального нагріву в 40 °C, мала вологість 8,34 %. Це перевищення порівняно з вихідною сировиною пояснюється тим, що на початкових етапах пресування відбувається інтенсивне вилучення сухої безводної ліпідної фази, що автоматично збільшує відносну концентрацію вологи у твердому залишку, який залишається в камері преса.

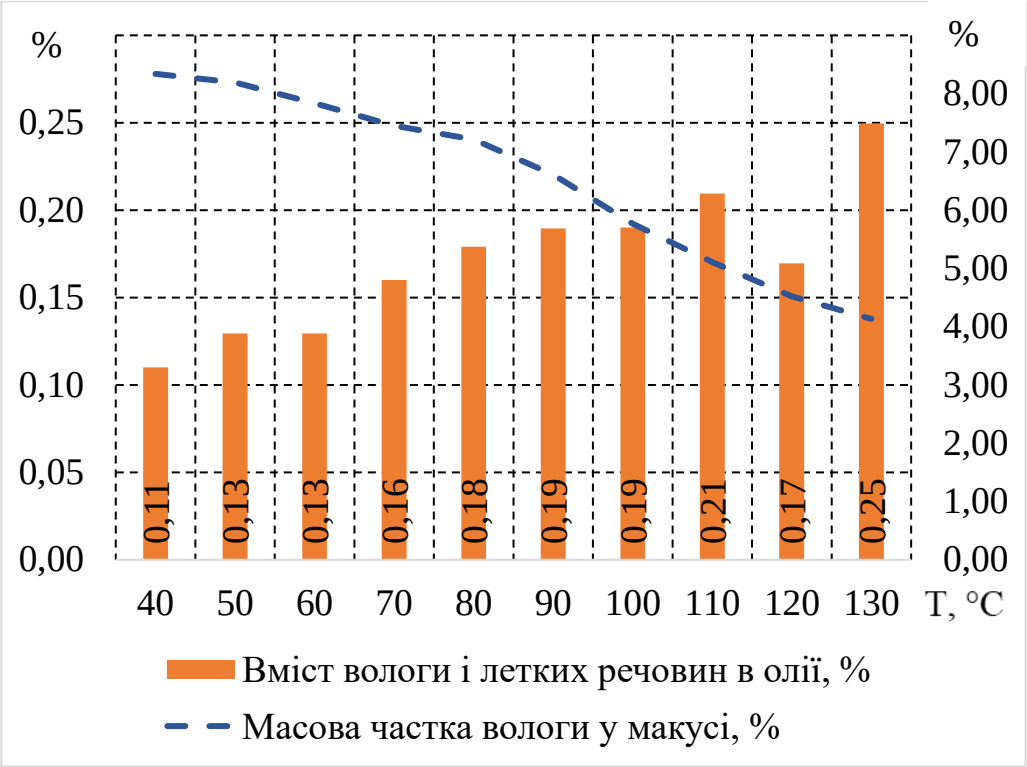


Рисунок 3.5 – Залежність вмісту вологи і летких речовин в олії та масової частки вологи у макусі від температури пресування насіння чіа

З підвищенням температури пресування понад 50 °C кінетика дегідратації починала підпорядковуватися законам тепломасообміну, де швидкість випаровування води перевищувала ефект концентрування сухого залишку. Показник масової частки вологи у макусі плавно, але безперервно знижувався, набуваючи значень 7,45 % при 70 °C, 5,77 % при 100 °C і досягаючи найнижчого рівня 4,13 % при максимальній температурі 130 °C. Така глибока дегідратація супроводжується руйнуванням гідрофільних колоїдів чіа, перш за все – полісахаридних слизів, які втрачають здатність утримувати зв'язану воду. Макуха втрачає свою пластичність, стає крихкою та абразивною, що призводить до різкого зростання механічного опору всередині зеєрної камери.

Паралельно з дегідратацією твердої фази відбувається перерозподіл залишків вологи та накопичення летких речовин безпосередньо в отриманій рослинній олії. Масова частка вологи і летких речовин в олії демонструє

зворотну тенденцію, стійко зростаючи в міру інтенсифікації температурного режиму. При 40 °C цей показник становив мінімальні 0,11 %, що вказує на високу чистоту ліпідної фази та низьку розчинність води в холодному триацилгліцериновому середовищі. З підвищенням температури пресування до 90 °C вміст вологи і летких сполук в олії збільшувався до 0,19 %, а при 130 °C досягав свого піка – 0,25 %.

Таке накопичення леткої фракції в олії є наслідком кількох одночасних процесів. По-перше, за високих температур зростає взаємна розчинність води та ліпідів, що полегшує утворення мікроемульсій. По-друге, інтенсивне теплове руйнування клітинних структур призводить до того, що пара закипаючої внутрішньоклітинної вологи механічно захоплюється потоком олії та частково конденсується в ньому під час виходу із зони високого тиску. По-третє, за температур понад 110 °C починається термічна деградація супутніх речовин олії з утворенням летких низькомолекулярних сполук (коротколанцюгових жирних кислот, пероксидних залишків), які фіксуються під час аналізу як леткі речовини. Цей чинник негативно позначається на стабільності олії, оскільки залишковий вміст вологи понад 0,2 % прискорює гідролітичне згіркнення ліпідів під час подальшого зберігання.

При шнековому пресуванні насіння чіа чорного баланс розподілу мас складається з чотирьох основних складових: виходу фільтрованої олії, кількості відокремленого фільтрувального осаду (фузу), виходу одержаної макухи та незворотних технологічних втрат. Аналіз експериментальних даних виявляє складну закономірність перерозподілу цих фракцій залежно від термічних умов пресування.

Показник незворотних технологічних втрат під час пресування в діапазоні від 40 до 110 °C утримувався на відносно стабільному рівні, коливаючись у межах 3,50–4,07 %, що відображено в табл. 3.3. Ці втрати складалися переважно з механічного утримання олії на внутрішніх робочих поверхнях шнека та зеєра, розбризкування дрібнодисперсних крапель, а також природного випаровування вільної вологи у навколишнє середовище через

вентиляційні отвори преса. Стабільність цього показника свідчить про рівноважний стан гідродинамічної системи в межах помірних температур. Проте при переході до жорстких режимів термічного оброблення картина матеріального балансу різко змінювалася. За температури 120 °С зафіксовано стрибкоподібне зростання втрат до максимального значення 5,27 %.

Таблиця 3.3 – Залежність втрат під час пресування від температури пресування насіння чіа

Т,°С	Втрати під час пресування насіння чіа, %									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	3,77	3,50	4,07	3,73	3,93	3,80	3,80	4,07	5,27	4,60

Такий зсув матеріального балансу при високих температурах має чітке фізико-хімічне обґрунтування. Нагрівання матеріалу до 120–130 °С викликає миттєве закипання та інтенсивне випаровування капілярної води, що супроводжується частковим винесенням легких фракцій самих ліпідів у вигляді масляного туману. Крім того, за цих умов відбувається часткова деструкція та карамелізація вуглеводного комплексу чіа, що призводить до налипання шару нагару на робочі органи шнекового вала. Цей нагар адсорбує на своїй поверхні значну кількість олії, виводячи її з корисного балансу та переводячи в категорію незворотних втрат.

Для визначення найкращих параметрів роботи пресового обладнання необхідно провести багатофакторний аналіз, що поєднує максимізацію виходу цільового продукту з мінімізацією технологічних втрат та забезпеченням високої хімічної стабільності. Порівняльна оцінка екстремальних та помірних режимів дозволяє зробити такі технологічні висновки:

Режими низьких температур (40–50 °С) забезпечує найкращі показники хімічної безпечності та стабільності олії, демонструючи найнижчі рівні кислотного числа. Однак вони є неефективними з економічної точки зору

через високий вміст осаду (до 8,87 %), що ускладнює фільтрацію, та недостатньо високий прямий вихід олії.

Режими високих температур (110–130 °C) є абсолютно неприйнятними, оскільки призводять до критичного падіння виходу фільтрованої олії, супроводжуються різким зростанням залишкової олійності макухи через теплову блокаду капілярів та викликають незворотне зростання кислотного числа, яке знижує потенціал зберігання продукту.

Оптимальним технологічним компромісом є температурний діапазон від 60 до 70 °C. Саме при температурі пресування 70 °C досягається високий рівень виходу фільтрованої олії (22,67 %), що практично не поступається абсолютному технологічному максимуму. При цьому кількість осаду повністю стабілізується на мінімальному значенні 2,40 %, залишкова олійність макухи утримується на низькому рівні (7,81 %), а кислотне число не перевищує помірну межу 2,545 мг КОН/г. Цей режим гарантує високу продуктивність лінії без ризику термічного пошкодження унікального жирнокислотного складу чорного чіа.

Висновки до розділу

Насіння чіа, використане у дослідженні, характеризується оптимальною для пресування вологістю (7,30 %), що забезпечує належні структурно-механічні властивості сировини та ефективне проходження процесу видобування олії. Вміст олії на рівні 36,29 % свідчить про перспективність насіння чіа як олійної сировини. Водночас значна кількість білка (16,11 %) та клітковини (18,06 %) формує міцну клітинну структуру, яка утримує ліпіди та впливає на процес їх вилучення. Високий вміст харчових волокон також обумовлює підвищені фрикційні властивості матеріалу під час пресування. Отримані результати підтверджують технологічну придатність насіння чіа для виробництва олії та продуктів її переробки.

Дослідження показали, що температура пресування суттєво впливає на ефективність видобування олії з насіння чіа. Підвищення температури від 40 до 100 °C сприяло зростанню виходу очищеної олії з 21,8 до 23,0 %, що пов’язано зі зниженням її в’язкості та полегшенням вивільнення ліпідів із клітинних структур насіння. Подальше підвищення температури понад 100 °C призводило до зменшення виходу олії до 21,07 % при 130 °C через денатурацію білків, зневоднення клітковинно-слизового комплексу та ущільнення макухи. Отримані результати свідчать, що найбільш ефективним температурним режимом пресування насіння чіа є 100 °C, за якого досягається максимальний вихід олії.

Залишкова олійність макухи зростала від 7,57–7,86 % при 40–70 °C до 11,48 % при 130 °C, що вказує на утримання значної частини ліпідів у пресованому залишку. Одночасно зі зростанням температури відбувалося інтенсивне зневоднення макухи: її вологість зменшувалася з 8,34 % при 40 °C до 4,13 % при 130 °C. Втрата вологи супроводжується руйнуванням гідрофільних компонентів, зниженням пластичності та ущільненням структури матеріалу, що підвищує механічний опір у пресовій камері та погіршує умови виділення олії. Таким чином, надмірне нагрівання призводить до одночасного зростання залишкової олійності та погіршення технологічних властивостей макухи, що підтверджує доцільність обмеження температури пресування насіння чіа.

Аналіз колірних характеристик олії насіння чіа показав, що процес очищення суттєво впливає на її оптичні властивості, підвищуючи показник світлоти та виявляючи природний зелений відтінок ліпідної фракції. Видалення механічних домішок і слизистих речовин сприяло збільшенню значення L* та переходу координати a* у негативну область, характерну для очищеної олії. Водночас підвищення температури пресування до 130 °C супроводжувалося поступовим потемнінням олії, зменшенням інтенсивності зеленого відтінку та зростанням жовтої складової кольору. Такі зміни свідчать про розвиток термічних і окиснювальних процесів, пов’язаних із частковою

деструкцією пігментів та накопиченням продуктів окиснення ліпідів. Отримані результати підтверджують, що помірні температури пресування забезпечують не лише високий вихід олії, а й краще збереження її природних колірних характеристик.

Підвищення температури пресування насіння чіа супроводжується зростанням масової частки вологи та летких речовин в олії з 0,11 % при 40 °С до 0,25 % при 130 °С. Це пов’язано зі збільшенням розчинності води в ліпідній фазі, механічним захопленням водяної пари потоком олії та накопиченням летких продуктів термічної деструкції супутніх компонентів. Зростання вмісту вологи та летких речовин понад 0,2 % свідчить про погіршення якості олії та потенційне зниження її стійкості під час зберігання внаслідок прискорення гідролітичних та окиснювальних процесів. Отримані результати підтверджують доцільність використання помірних температурних режимів пресування, які забезпечують кращу якість та стабільність готової олії.

Підвищення температури пресування насіння чіа супроводжувалося закономірним зростанням кислотного числа олії від 2,34 мг КОН/г при 40 °С до 2,84 мг КОН/г при 130 °С. Це свідчить про посилення процесів гідролітичного розщеплення триацилгліцеринів та накопичення вільних жирних кислот під впливом високих температур. Особливо інтенсивне зростання кислотного числа спостерігалося за температур понад 100 °С, що вказує на початок глибших деструктивних змін ліпідного комплексу. Накопичення вільних жирних кислот не лише погіршує якість олії, а й прискорює розвиток окиснювальних процесів під час зберігання. Отримані результати свідчать, що застосування високих температур (110–130 °С) є небажаним через погіршення показників якості та зниження стабільності олії, тоді як нижчі температурні режими забезпечують краще збереження її технологічних та споживчих властивостей.

Промислове пресування насіння чіа чорного слід здійснювати у вузькому температурному діапазоні 60–70 °С. Це забезпечує стабільний технологічний вихід фільтрованої олії на рівні 22,67 % , утримує незворотні

втрати в межах мінімальних 3,5–3,7 % та мінімізує залишкову олійність макухи до 7,81 %. Такий режим оптимізує роботу первинного очищення, оскільки масова частка зважених часток (фузу) в олії знижується до мінімуму – 2,40 %. Це суттєво зменшує гідродинамічний опір при фільтрації, знижує знос фільтрувальних матеріалів і запобігає втратам цільового продукту з осадом. Для збереження високої якості ліпідної матриці необхідно контролювати показники вологості олії та її кислотного числа, яке за оптимальних умов не перевищує 2,545 мг КОН/г. Слід уникати перегріву преса понад 110 °С, оскільки за вищих температур фіксується стрімке зростання незворотних технологічних втрат до 5,27 % через випаровування води у вигляді масляного туману та налипання нагару.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Розробка картки безпеки праці

Експериментальні дослідження, спрямовані на вивчення процесу видобування олії з насіння чіа чорного, були реалізовані у двох науково-дослідних локаціях, що дозволило забезпечити високу точність результатів та дотриматися всіх вимог безпеки.

Основний блок робіт виконували в навчальній лабораторії кафедри харчових технологій Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Безпосередньо в цій навчальній лабораторії здійснювали підготовчі операції з приготування наважок, механічне видобування олії на лабораторному шнековому пресі, очищення отриманої олії шляхом центрифугування, а також експрес-висушування зразків насіння, макухи та олії з використанням високоточних ваг-вологоміра. Крім того, на базі університету проводили визначення колірності олії за допомогою портативного колориметра та виконували хімічний аналіз для встановлення кислотного числа.

Водночас такі специфічні дослідження фізико-хімічного складу, як визначення масової частки жиру, протеїну та клітковини безпосередньо в насінні чіа, а також встановлення кількості залишкової олії в отриманій макусі, проводили на базі випробувальної лабораторії харчових продуктів та продовольчої сировини ТОВ «Агро-Овен».

Організація безпечних умов праці під час виконання всіх етапів робіт у навчальній лабораторії університету визначається чинними державними нормами охорони праці, правилами експлуатації відповідного електричного та механічного обладнання, а також затвердженими внутрішніми інструкціями закладу вищої освіти.

Під час виконання лабораторних робіт, пов'язаних із переробкою насіння чіа чорного, на дослідника діє комплекс потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які потребують постійного моніторингу та суворого контролю.

Домінуючими фізичними факторами є небезпека ураження електричним струмом від мережевого обладнання, зокрема шнекового преса, лабораторної центрифуги, ваг-вологоміра та зарядних блоків портативного колориметра. Виражену механічну небезпеку становлять відкриті рухомі частини механізму пресування та високошвидкісний ротор центрифуги, неправильна експлуатація яких може призвести до травмування. Термічні фактори ризику генеруються нагрітими металевими поверхнями робочої камери шнекового преса, безпосередньо гарячою олією на виході з сопла, а також інтенсивними галогеновими або інфрачервоними нагрівальними елементами ваг-вологоміра під час процедури висушування зразків. Хімічні фактори небезпеки виникають виключно під час аналітичного визначення кислотного числа, що зумовлено об'єктивною необхідністю використання токсичних, летких та легкозаймистих хімічних реактивів для титрування.

Безпечна експлуатація лабораторного шнекового преса вимагає обов'язкової попередньої перевірки надійності контуру заземлення та візуального огляду цілісності ізоляції електрокабелів перед кожним запуском приладу в роботу. Завантаження підготовлених наважок насіння чіа в бункер здійснюється вкрай обережно, при цьому категорично забороняється будь-яке фізичне втручання в роботу обертових механізмів або спроби проштовхнути сировину сторонніми предметами. Оскільки процес механічного видобування олії супроводжується значним підвищенням температури робочих органів за рахунок тертя, оператор повинен уникати прямого контакту з нагрітими деталями корпусу та обов'язково використовувати спеціальні термозахисні рукавиці для запобігання опікам.

Робота з лабораторною центрифугою вимагає бездоганного масового балансування пробірок із сирою олією чіа та суворо забороняє відкриття

захисної верхньої кришки до моменту повної, остаточної зупинки обертання ротора.

Процедура експрес-висушування зразків насіння, макухи та олії на вагах-вологомірі потребує підвищеної концентрації уваги через інтенсивне локальне нагрівання випромінювача; працівникам забороняється торкатися нагрівального модуля під час його активної роботи та одразу після її завершення до повного охолодження приладу.

Робота з портативним колориметром є найменш травмонебезпечним етапом серед усіх досліджень, проте вона вимагає неухильного дотримання базових правил поводження з чутливими електроприладами та обережного ставлення до крихких елементів.

Проведення хімічного аналізу для встановлення кислотного числа повинно виконуватися виключно у функціонуючій витяжній шафі з обов'язковим застосуванням повного спектра засобів індивідуального захисту, зокрема бавовняного лабораторного халата, хімічно стійких нітрилових рукавичок та закритих захисних окулярів.

З огляду на специфіку роботи, багатоетапність процесу та для забезпечення комплексного підходу до безпеки операційних дій, було розроблено спеціальну картку безпеки праці для оператора лінії виробництва олії з насіння чіа (рис. 4.1), яка детально та покроково регламентує порядок безпечних дій працівника перед початком, безпосередньо під час та після закінчення роботи з обладнанням.

4.2 Екологічна безпека та раціональне поводження з побічними продуктами переробки насіння чіа

Процес механічного видобування олії з насіння чіа чорного неминуче супроводжується утворенням побічних продуктів, основними з яких є тверда пресова макуха та густий фільтраційний осад, що залишається після

відстоювання та центрифугування олії. Згідно з принципами сталого розвитку, зазначені матеріали не розглядаються як відходи у класичному розумінні, оскільки вони зберігають надзвичайно високу біологічну, енергетичну та харчову цінність.

<table>
<tr>
<td>1. Загальна інформація
1. Місце роботи – лінія з виробництва олії з насіння чіа.
2. Вид робіт – видобування олії з насіння чіа пресовим способом.
3. Посада – оператор лінії.
4. Тривалість робочого часу – 2 зміни (07:00–18:30; 19:00–06:30).
5. Проходження медогляду – 1 раз на рік.
6. Проходження повторного інструктажу з охорони праці – 1 раз на 6 місяців.
7. Термін дії картки: до 01.12.2029 р.</td>
<td>2. Забезпечення одягом та засобами індивідуального захисту
1. Санітарний одяг (4 комплекти) – 1 раз на рік.
2. Взуття шкіряне жаростійке – 1 раз на 6 місяців.
3. Нарукавники бавовняні – 1 раз на 3 місяці.
4. Рукавиці трикотажні, навушники протишумові, окуляри захисні – до зносу.</td>
</tr>
<tr>
<td>3. Вимоги перед початком роботи
1. До роботи допускають осіб, які досягли 18-річного віку, пройшли медичне обстеження та не мають медичних протипоказань, вступний інструктаж, спеціальне навчання.
2. Робітник повинен одягнути спецодяг, підготувати робочу зону.
3. Перевірити роботу штучної вентиляції, справність та наявність захисних огороджень приводів робочих органів.
4. Перед запуском обладнання перевірити, що нікому не загрожує небезпека від частин і механізмів.
5. Перевірити роботу обладнання на холостому ходу.
6. Про виявленні порушення і недоліків доповісти безпосередньому керівнику і до їх усунення до роботи не приступати.</td>
<td>4. Вимоги під час роботи
1. Робітнику дозволяється виконувати тільки ту роботу, за якою пройдено навчання, інструктаж з охорони праці, до якої допущений особою, відповідальною за безпечне проведення осіб.
2. Необхідно утримувати своє робоче місце у належній чистоті, своєчасно прибирати з підлоги розсипану сировину, розлиту готову продукцію, тощо.
3. Необхідно застосовувати засоби захисту рук під час роботи з гарячими поверхнями.
4. Можна використовувати тільки справне устаткування, інструмент, пристосування.
5. Не дозволяється доручати свою роботу іншим особам, які не пройшли відповідне навчання та інструктаж.</td>
</tr>
<tr>
<td>5. Вимоги після закінчення роботи
1. Привести в порядок робоче місце, інструменти та пристосування прибрати у відведене місце.
2. Зняти і здати на збереження спецодяг і засоби індивідуального захисту.
3. Виконати правила особистої гігієни.
4. Про виявлені порушення і недоліки під час проведення робіт доповісти безпосередньому керівнику і змінному працівнику.</td>
<td>6. Вимоги в надзвичайних ситуаціях
1. Негайно припинити всі роботи.
2. Вимкнути все обладнання.
3. Доповісти керівнику про виникнення надзвичайної ситуації.</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Контакти служб екстреної допомоги</td>
</tr>
<tr>
<td>Внутрішні службові номери:

Майстер відділення: 000-00-00

Служба охорони праці:
000-00-00 - головний інженер,
000-00-00 - медичний кабінет.</td>
<td>
</td>
</tr>
</table>

Рисунок 4.1 – Картка безпеки праці для оператора лінії

Як підтвердили результати аналізів, проведених у незалежній випробувальній лабораторії, макуха чіа характеризується значним вмістом цінної залишкової олії, легкозасвоюваного рослинного протеїну та харчової клітковини. Це робить її надзвичайно перспективною функціональною сировиною для подальшого використання у харчовій промисловості, наприклад, при створенні безглютенових хлібобулочних виробів, або як високопоживної вітамінно-білкової добавки у сучасному тваринництві.

Осад, що залишається в пробірках після очищення олії на центрифузі, містить дрібні механічні частинки оболонки насіння та значну частку ліпідів. Цей багатий на органіку залишок може бути безпосередньо направлений на повторне пресування разом із новою партією сировини для максимізації виходу олії, або ж успішно використаний для енергетичних потреб чи екологічного компостування.

Раціональне, науково обґрунтоване та комплексне використання цих побічних продуктів дозволяє підприємствам ефективно реалізувати принципи безвідходної технології, суттєво знизити екологічне навантаження на навколишнє природне середовище та значно підвищити загальну економічну рентабельність процесу переробки насіння чіа.

Висновки до розділу

Розглянуто питання забезпечення безпечних умов праці та екологічної безпеки під час проведення досліджень, пов’язаних із видобуванням олії з насіння чіа чорного. Встановлено, що виконання експериментальних робіт потребує суворого дотримання вимог охорони праці, оскільки під час експлуатації лабораторного обладнання на працівника можуть впливати електричні, механічні, термічні та хімічні небезпечні фактори.

Проаналізовано потенційні ризики під час роботи зі шнековим пресом, центрифугою, вагами-вологоміром, колориметром та під час проведення хімічних аналізів. На основі проведеного аналізу розроблено картку безпеки

праці для оператора лінії виробництва олії з насіння чіа, яка регламентує безпечне виконання технологічних операцій, використання засобів індивідуального захисту та порядок дій у разі виникнення небезпечних ситуацій.

Досліджено питання екологічної безпеки та поводження з побічними продуктами переробки насіння чіа. Встановлено, що макуха та осад після очищення олії характеризуються високою поживною та біологічною цінністю та можуть бути використані як вторинна сировина у харчовій промисловості, кормовиробництві, компостуванні або для повторної переробки. Це дозволяє реалізувати принципи ресурсозбереження та безвідходного виробництва.

Таким чином, дотримання вимог охорони праці, пожежної та електробезпеки, а також раціональне використання побічних продуктів переробки насіння чіа забезпечують безпечне проведення досліджень, мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище та сприяють підвищенню ефективності й екологічності технології виробництва олії.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Розрахунок вартості дослідження

Аналіз наукових та літературних джерел підтвердив актуальність і доцільність виробництва олії з насіння чіа, що зумовлено її високою поживною та біологічною цінністю, а також унікальними функціональними властивостями. У процесі експериментальних досліджень вирішувалося завдання визначення оптимальних технологічних параметрів переробки насіння чіа.

Для визначення витрат, які призначені для забезпечення досліджень складено відповідний кошторис.

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

$$m = \Sigma\, m_i \cdot Ц_i, \qquad (5.1)$$

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

$Ц_i$ – 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 чіа, кг	450,00	3	1350,00
2	Ємність для зразків олії, шт.	10,00	20	200,00
			Всього	1550,00

Розрахунок заробітної плати керівника наукового дослідження наведений 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 кваліфікацій-ної 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:

$$Н = \frac{2024{,}20 \cdot 22}{100} = 445{,}32 \text{ грн}$$

Витрати на спожиту електроенергію розраховували за формулою (5.2):

$$Е = М \cdot К \cdot Т \cdot а, \quad (5.2)$$

де М − потужність задіяного електрообладнання, кВт;

К − коефіцієнт використання потужності, К = 0,9;

Т − час роботи обладнання, год.;

а − тариф за електроенергію (за 1 кВт), грн./(кВт/год.);

а = 9,83 грн./(кВт/год.).

Дослідження проводили з використанням наступного обладнання: шнековий прес «OilExtractor OP-600M»; лабораторні ваги «TBE-0,3-0,01»; центрифуга «MICROmed CM-3M»; колориметр портативний «Linshang LS173»; ваги-вологомір «Radwag MA 110.R»; ноутбук «Lenovo».

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

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків витрат на електроенергії

Обладнання	Потужність обладнання, кВт	Час роботи обладнання, год	Витрати на електроенергію, грн
Шнековий прес «OilExtractor OP-600M»	0,6	9,5	50,43
Ноутбук «Lenovo»	0,135	84	100,32
Ваги-вологомір «Radwag MA 110.R»	0,3	8,5	22,56
Центрифуга «MICROmed CM-3M»	1,1	2,5	24,33
Лабораторні ваги «ТВЕ-0,3-0,01»	0,012	1,6	0,17
Всього			197,81

Витрати на амортизацію обладнання знаходили за формулою (5.3):

$$A = \frac{Ф \cdot Н \cdot t}{100 \cdot 365}, \quad (5.3)$$

де А − амортизаційні відрахування, грн;

Ф − вартість обладнання, грн;

Н − 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
Ваги-вологомір «Radwag MA 110.R»	87200,00	15	0,35	12,54
Центрифуга MICROmed CM-3M	4860,00	10	0,10	0,13
Лабораторні ваги «ТВЕ-0,3-0,01»	8790,00	10	0,07	0,17
Шнековий прес «OilExtractor OP-600M»	14000,00	15	0,4	2,30
Колориметр портативний «Linshang LS173»	9990,00	10	0,04	0,11
Ноутбук «Lenovo»	27000,00	25	3,5	64,73
			Всього	79,98

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	1550,00
Заробітна плата	2024,20
Нарахування на заробітну плату	445,32
Електроенергія	197,81
Амортизація	79,98
Накладні витрати	1619,36
Всього	5916,67

Загальна вартість дослідження визначали за формулою (5.4):

$$Ц = С + \frac{Р \cdot С}{100}, \quad (5.4)$$

де Ц − вартість дослідження, грн;

С − витрати на дослідження, грн;

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

$$Ц = 5916{,}67 + \frac{30 \cdot 5916{,}67}{100} = 7691{,}67 \text{ грн}$$

Витрати на проведені дослідження кваліфікаційної роботи становили 7691,67 грн.

5.2 Техніко-економічні показники виробництва олії з насіння чіа

У табл. 5.6 наведено розрахунок прогнозованої собівартості 1 л олії з насіння чіа.

Таблиця 5.6 – Техніко-економічні показники виробництва олії з насіння чіа

Найменування статей калькуляції	Виробництво олії з насіння чіа		
	Кількість	Ціна (грн.)	Сума (грн.)
1	2	3	4
Сировина та основні матеріали:			
Насіння чіа, кг	800	275	220000,00
Зворотні відходи, що реалізуються:			
Макуха, кг	562,16	50,00	28108,00
Осад після очищення олії, кг	19,20	15,00	288,00
Разом сировини і основних матеріалів за вирахуванням попутної продукції та зворотних відходів, кг			*191604,00*
Допоміжні і таропакувальні матеріали:			
Картонні коробки, шт	37	10,00	370,00

Продовження табл. 5.6

1	2	3	4
Пляшки скляні затемнені (250 мл), шт	726	18,00	13068,00
Разом			*13438,00*
Паливо і енергія на технологічні цілі:			
Електроенергія, кВт.год:	7	9,83	68,81
Разом			*68,81*
Витрати на утримання та експлуатацію обладнання			*500,00*
Амортизаційні відрахування			*250,00*
Вихід готової продукції, кг	181,36		
Виробнича собівартість 1 кг готового продукту			**1135,09**

Середня ціна 1 л олії з насіння чіа, представленої на ринку України, становить 1780,00 грн. Отже вигідність переробки цієї сировини є значною та очевидною.

Висновки до розділу

Під час роботи було складено кошторис витрат на проведення науково-дослідної частини (загальна вартість склала 7691,67 грн) та визначено ключові техніко-економічні показники процесу виробництва олії. Важливою перевагою розрахованої технології є комплексний підхід до використання сировини: врахування реалізації побічної продукції та зворотних відходів (макухи й осаду) дозволило суттєво знизити фінансове навантаження на основне виробництво. Згідно з калькуляцією, виробнича собівартість 1 кг готової олії становить 1135,09 грн. Порівнюючи цей показник із середньою ринковою ціною в Україні, яка сягає 1780,00 грн за 1 літр, варто звернути увагу на різницю в одиницях виміру: оскільки щільність олії менша за щільність води і 1 літр важить менше ніж 1 кг, фактична собівартість 1 літра продукції буде ще нижчою, що гарантує високий рівень прибутковості. Отже, впровадження запропонованої технології одержання олії з насіння чіа є не лише технологічно обґрунтованим, але й комерційно вигідним рішенням із значним ринковим потенціалом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Насіння чіа, використане у дослідженні, характеризується оптимальною для пресування вологістю (7,30 %), що забезпечує належні структурно-механічні властивості сировини та ефективне проходження процесу видобування олії. Вміст олії на рівні 36,29 % свідчить про перспективність насіння чіа як олійної сировини. Водночас значна кількість білка (16,11 %) та клітковини (18,06 %) формує міцну клітинну структуру, яка утримує ліпіди та впливає на процес їх вилучення. Високий вміст харчових волокон також обумовлює підвищені фрикційні властивості матеріалу під час пресування. Отримані результати підтверджують технологічну придатність насіння чіа для виробництва олії та продуктів її переробки.

2. Дослідження показали, що температура пресування суттєво впливає на ефективність видобування олії з насіння чіа. Підвищення температури від 40 до 100 °C сприяло зростанню виходу очищеної олії з 21,8 до 23,0 %, що пов’язано зі зниженням її в’язкості та полегшенням вивільнення ліпідів із клітинних структур насіння. Подальше підвищення температури понад 100 °C призводило до зменшення виходу олії до 21,07 % при 130 °C через денатурацію білків, зневоднення клітковинно-слизового комплексу та ущільнення макухи. Отримані результати свідчать, що найбільш ефективним температурним режимом пресування насіння чіа є 100 °C, за якого досягається максимальний вихід олії.

3. Залишкова олійність макухи зростала від 7,57–7,86 % при 40–70 °C до 11,48 % при 130 °C, що вказує на утримання значної частини ліпідів у пресованому залишку. Одночасно зі зростанням температури відбувалося інтенсивне зневоднення макухи: її вологість зменшувалася з 8,34 % при 40 °C до 4,13 % при 130 °C. Втрата вологи супроводжується руйнуванням гідрофільних компонентів, зниженням пластичності та ущільненням структури матеріалу, що підвищує механічний опір у пресовій камері та погіршує умови виділення олії. Таким чином, надмірне нагрівання призводить

до одночасного зростання залишкової олійності та погіршення технологічних властивостей макухи, що підтверджує доцільність обмеження температури пресування насіння чіа.

4. Аналіз колірних характеристик олії насіння чіа показав, що процес очищення суттєво впливає на її оптичні властивості, підвищуючи показник світлоти та виявляючи природний зелений відтінок ліпідної фракції. Видалення механічних домішок і слизистих речовин сприяло збільшенню значення L* та переходу координати a* у негативну область, характерну для очищеної олії. Водночас підвищення температури пресування до 130 °C супроводжувалося поступовим потемнінням олії, зменшенням інтенсивності зеленого відтінку та зростанням жовтої складової кольору. Такі зміни свідчать про розвиток термічних і окиснювальних процесів, пов’язаних із частковою деструкцією пігментів та накопиченням продуктів окиснення ліпідів. Отримані результати підтверджують, що помірні температури пресування забезпечують не лише високий вихід олії, а й краще збереження її природних колірних характеристик.

5. Підвищення температури пресування насіння чіа супроводжується зростанням масової частки вологи та летких речовин в олії з 0,11 % при 40 °C до 0,25 % при 130 °C. Це пов’язано зі збільшенням розчинності води в ліпідній фазі, механічним захопленням водяної пари потоком олії та накопиченням летких продуктів термічної деструкції супутніх компонентів. Зростання вмісту вологи та летких речовин понад 0,2 % свідчить про погіршення якості олії та потенційне зниження її стійкості під час зберігання внаслідок прискорення гідролітичних та окиснювальних процесів. Отримані результати підтверджують доцільність використання помірних температурних режимів пресування, які забезпечують кращу якість та стабільність готової олії.

6. Підвищення температури пресування насіння чіа супроводжувалося закономірним зростанням кислотного числа олії від 2,34 мг КОН/г при 40 °C до 2,84 мг КОН/г при 130 °C. Це свідчить про посилення

процесів гідролітичного розщеплення триацилгліцеринів та накопичення вільних жирних кислот під впливом високих температур. Особливо інтенсивне зростання кислотного числа спостерігалося за температур понад 100 °С, що вказує на початок глибших деструктивних змін ліпідного комплексу. Накопичення вільних жирних кислот не лише погіршує якість олії, а й прискорює розвиток окиснювальних процесів під час зберігання. Отримані результати свідчать, що застосування високих температур (110–130 °С) є небажаним через погіршення показників якості та зниження стабільності олії, тоді як нижчі температурні режими забезпечують краще збереження її технологічних та споживчих властивостей.

7. Промислове пресування насіння чіа чорного слід здійснювати у вузькому температурному діапазоні 60–70 °С. Це забезпечує стабільний технологічний вихід фільтрованої олії на рівні 22,67 %, утримує незворотні втрати в межах мінімальних 3,5–3,7 % та мінімізує залишкову олійність макухи до 7,81 %. Такий режим оптимізує роботу первинного очищення, оскільки масова частка зважених часток (фузу) в олії знижується до мінімуму – 2,40 %. Це суттєво зменшує гідродинамічний опір при фільтрації, знижує знос фільтрувальних матеріалів та запобігає втратам цільового продукту з осадом. Для збереження високої якості ліпідної матриці необхідно контролювати показники вологості олії та її кислотного числа, яке за оптимальних умов не перевищує 2,545 мг КОН/г. Слід уникати перегріву преса понад 110 °С, оскільки за вищих температур фіксується стрімке зростання незворотних технологічних втрат до 5,27 % через випаровування води у вигляді масляного туману та налипання нагару.

8. Розглянуто питання забезпечення безпечних умов праці та екологічної безпеки під час проведення досліджень, пов’язаних із видобуванням олії з насіння чіа чорного. Встановлено, що виконання експериментальних робіт потребує суворого дотримання вимог охорони праці, оскільки під час експлуатації лабораторного обладнання на працівника можуть впливати електричні, механічні, термічні та хімічні небезпечні

фактори. Проаналізовано потенційні ризики під час роботи зі шнековим пресом, центрифугою, вагами-вологоміром, колориметром та під час проведення хімічних аналізів. На основі проведеного аналізу розроблено картку безпеки праці для оператора лінії виробництва олії з насіння чіа, яка регламентує безпечне виконання технологічних операцій, використання засобів індивідуального захисту та порядок дій у разі виникнення небезпечних ситуацій. Досліджено питання екологічної безпеки та поводження з побічними продуктами переробки насіння чіа. Встановлено, що макуха та осад після очищення олії характеризуються високою поживною та біологічною цінністю та можуть бути використані як вторинна сировина у харчовій промисловості, кормовиробництві, компостуванні або для повторної переробки. Це дозволяє реалізувати принципи ресурсозбереження та безвідходного виробництва. Таким чином, дотримання вимог охорони праці, пожежної та електробезпеки, а також раціональне використання побічних продуктів переробки насіння чіа забезпечують безпечне проведення досліджень, мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище та сприяють підвищенню ефективності й екологічності технології виробництва олії.

9. Складено кошторис витрат на проведення науково-дослідної частини (загальна вартість склала 7691,67 грн) та визначено ключові техніко-економічні показники процесу виробництва олії. Важливою перевагою розрахованої технології є комплексний підхід до використання сировини: врахування реалізації побічної продукції та зворотних відходів дозволило суттєво знизити фінансове навантаження на основне виробництво. Виробнича собівартість 1 кг готової олії становить 1135,09 грн. Порівнюючи цей показник із середньою ринковою ціною в Україні, яка сягає 1780,00 грн за 1 літр, варто звернути увагу на різницю в одиницях виміру: фактична собівартість 1 літра продукції буде ще нижчою, що гарантує високий рівень прибутковості. Отже, впровадження запропонованої технології одержання олії з насіння чіа є не лише технологічно обґрунтованим, але й комерційно вигідним рішенням із значним ринковим потенціалом.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. R. Ullah et al Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. Vol. 53, no. 4. P. 1750–1758. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1967-0.

2. K.-K. Ashura et al. Nutritional, health benefits and usage of chia seeds (*Salvia hispanica*): a review. *African Journal of Food Science*. 2021. Vol. 15, no. 2. P. 48–59. https://doi.org/10.5897/ajfs2020.2015.

3. Marcinek K., Krejpcio Z. Chia seeds (*salvia hispanica*): health promoting properties and therapeutic applications – a review. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 2017. Vol. 68, no. 2. P. 123–129.

4. L. Ziaeifar et al. Chia seed protein: processing, structural and functional properties, and applications in food formulations. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2025. https://doi.org/10.1007/s11694-025-03489-y.

5. Anacleto S., Ruiz-Ibarra G., Rana J., Gordillo G., West H., Sharma M. & Liu, X., de la Torre, R-R. Chia Crop (*Salvia hispanica* l.): its History and Importance as a Source of Polyunsaturated Fatty Acids Omega-3 Around the World: a Review. *Journal of Crop Research and Fertilizer*. 2016. Vol 1. P.1–9.

6. Evanko K. Chia. *Gardenish Plant Encyclopedia*. https://gardenish.co/plants/salvia-hispanica (дата звернення: 27.04.2026).

7. C. R. Azzam et al. Characterization of two novel chia (Salvia hispanica L.) white and black genotypes via DNA barcoding, physiological, and agronomic traits *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2025. Vol. 23, no. 3. P. 100545. https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2025.100545.

8. A. S. Baldivia et al. The chia (*Salvia hispanica*): past, present and future of an ancient Mexican crop. *Australian Journal of Crop Science*. 2018. Vol. 12, no. 10. P. 1626–1632. https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.10.p1202.

9. M. R. Segura-Campos et al. Chemical and Functional Properties of Chia Seed (Salvia hispanicaL.) Gum *International Journal of Food Science*. 2014. Vol. 2014. P. 1–5. https://doi.org/10.1155/2014/241053.

10. B. E. Campos et al. Optimization of the mucilage extraction process from chia seeds and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier *LWT - Food Science and Technology*. 2016. Vol. 65. P. 874–883. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.021.

11. Das A. Advances in Chia Seed Research. *Advances in Biotechnology & Microbiology*. 2017. Vol. 5, no. 3. https://doi.org/10.19080/aibm.2017.05.555662.

12. Kumar S. Which Country is the Biggest Producer of Chia Seeds In the World? Check the Top Producer. *The Sunday Guardian*. https://sundayguardianlive.com/trending/which-country-is-the-biggest-producer-of-chia-seeds-in-the-world-check-the-top-producer-172550/ (date of access: 27.04.2026).

13. Paraguay's Rise as a Leading Global Chia Seed Supplier. *Tradeasia | Global Chemical Supplier*. https://www.chemtradeasia.com/market-insights/paraguay-leading-chia-seed-supplier (date of access: 27.04.2026).

14. Ngounou V. Leading Global Chia Seed Suppliers and Exporters. *NNRV TRADE*. https://nnrvtradepartners.com/leading-global-chia-seed-suppliers-and-exporters/ (date of access: 27.04.2026).

15. Вирощування чіа: селекція українських сортів та секрети технології. *Superagronom.com Головний сайт для агрономів*. https://superagronom.com/blog/1124-chia-v-ukrayini-pershi-kroki-v-selektsiyi-ukrayinskih-sortiv-osoblivosti-viroschuvannya-ta-perspektivi (дата звернення: 27.04.2026).

16. Vijayan V., Sadanandan L. Morpho-anatomical characterization of *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae) from Kerala, India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. 2025. https://doi.org/10.1016/j.japb.2025.11.008.

17. C. Palma-Rojas et al. Genetic, cytological and molecular characterization of chia (Salvia hispanica L.) provenances *Biochemical Systematics and Ecology*. 2017. Vol. 73. P. 16–21. https://doi.org/10.1016/j.bse.2017.05.003.

18. Iannucci A., Amato M. Root morphology and shoot growth in seedlings of chia (Salvia hispanica L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2021. https://doi.org/10.1007/s10722-021-01181-w.

19. Nahar K. Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) biology: A superfood cereal for healthy life – An overview. *Journal of Plant Biota*. 2024. Vol. 4, no. 1. P. 06–10. https://doi.org/10.51470/jpb.2025.4.1.06.

20. B. Kulczyński et al. The Chemical Composition and Nutritional Value of Chia Seeds–Current State of Knowledge *Nutrients*. 2019. Vol. 11, no. 6. P. 1242. https://doi.org/10.3390/nu11061242.

21. K. Ghafoor et al. An evaluation of bioactive compounds, fatty acid composition and oil quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seed roasted at different temperatures *Food Chemistry*. 2020. Vol. 333. P. 127531. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127531.

22. Brandán J.P., Izquierdo N., Acreche M.M. Oil and protein concentration and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) as affected by environmental conditions. *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 177. P. 114496. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114496.

23. Orona-Tamayo D., Valverde M. E., Paredes-López O. Chia–The New Golden Seed for the 21st Century. *Sustainable Protein Sources*. 2017. P. 265–281. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802778-3.00017-2

24. D. Solanki et al. Prospects of using non-thermal technologies for chia seed mucilage extraction *Sustainable Food Technology*. 2024. https://doi.org/10.1039/d4fb00074a.

25. L.A. Muñoz et al. Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 108, no. 1. P. 216–224. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.037.

26. Á.J. García-Salcedo et al. Pasting, viscoelastic, and physicochemical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) flour and mucilage *Food Structure*. 2018. Vol. 16. P. 59–66. https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.03.004.

27. M. Samateh et al. Unravelling the secret of seed-based gels in water: the nanoscale 3D network formation *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8, no. 1. https://doi.org/10.1038/s41598-018-25691-3.

28. J.S. Santos et al. Scientific Mapping of Chia Protein Research: State of the Art and Future Trends *Foods*. 2024. Vol. 13, no. 24. P. 4181. https://doi.org/10.3390/foods13244181.

29. A. Tamargo et al. Understanding the impact of chia seed mucilage on human gut microbiota by using the dynamic gastrointestinal model simgi. *Journal of Functional Foods*. 2018. Vol. 50. P. 104–111. https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.09.028.

30. M.A. Rauf et al. A comprehensive review on nutritional, functional, and clinical perspectives of chia seeds and chia mucilage *Bioactive Carbohydrates and Dietary* Fibre. 2026. P. 100526. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2026.100526.

31. Mondor M. Chia (*Salvia Hispanica*) Seed Oil Extraction By-Product and Its Edible Applications. *Food Reviews International*. 2023. P. 1–20. https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2160457.

32. O.A. Sánchez-Velázquez et al. Bioactive Phytochemicals from Chia Seed (Salvia hispanica) Oil Processing By-Products *Reference Series in Phytochemistry*. Cham, 2022. P. 1–25. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63961-7_30-1.

33. Punia S., Dhull S.B. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) mucilage (a heteropolysaccharide): Functional, thermal, rheological behaviour and its utilization. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 140. P. 1084–1090. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.205.

34. E.O. Mensah et al. Evaluation of extraction techniques for chia seed mucilage; A review on the structural composition, physicochemical properties and applications *Food Hydrocolloids*. 2024. Vol. 153. P. 110051. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110051.

35. Zettel V., Hitzmann B. Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. *Trends in Food Science & Technology*. 2018. Vol. 80. P. 43–50. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.011.

36. Шидакова-Каменюка О.Г., Шкляєв О.М., Рогова А.Л. Мікробіологічна безпека кремово-збивних цукерок з насінням чіа *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. Т. 25, №3. С. 234-242. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_3_27.

37. Iserliyska D., Zsivanovits G., & Marudova M. Chia Gel Usage as an Egg Replacer in the Conventional Cake Recipe. 2022 *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*. Vol. 25, Issue 3, P. 207–227. https://jmabonline.com/article/adXEjlNMDxiGv2k1cWTa

38. Fernandes S.S., Salas-Mellado M.d.l.M. Addition of chia seed mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. *Food Chemistry*. 2017. Vol. 227. P. 237–244. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.075.

39. Приліпко Т.М., Косташ В.Б., Коваль Т.В. Перспектива використання олії з насіння чіа у складі майонезних соусів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки.* 2024. №1. С. 193–197. https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.1.23.

40. J.Á. Pérez-Álvarez et al. Application of Chia Seed Coproduct in Dry-Cured Sausages: Effect Upon Its Physicochemical Properties *Proceedings*. 2020. Vol. 70, no. 1. P. 87. https://doi.org/10.3390/foods_2020-07746.

41. Arifin N., Mohd Hanifah N. F., Yahya H. N. Physicochemical Properties, Nutritional Composition and Sensory Acceptance of Chicken Meat Sausages with Chia Seed Powder Substitution. *Malaysian Journal of Science Health & Technology*. 2021. Vol. 7, no. 1. P. 34–42. https://doi.org/10.33102/mjosht.v7i1.137.

42. M. Mesías et al. Risk/Benefit Evaluation of Chia Seeds as a New Ingredient in Cereal-Based Foods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023. Vol. 20, no. 6. P. 5114. https://doi.org/10.3390/ijerph20065114.

43. Y.P. Timilsena et al. Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil *Food Chemistry*. 2017. Vol. 228. P. 394–402. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.021.

44. M. Musa Özcan et al. Effect of different microwave power setting on quality of chia seed oil obtained in a cold press *Food Chemistry*. 2019. Vol. 278. P. 190–196. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.048.

45. Nazir S., Dhull S. B., Sharma V. Extraction and characterization of omega fatty acids (as fixed oil) from various plants seeds (flaxseeds, chia seeds, chilli seeds, basil seeds, quince seeds). *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2025. https://doi.org/10.1007/s11694-025-03100-4.

46. Y. Shen et al. Phytochemical and Biological Characteristics of Mexican Chia Seed Oil *Molecules*. 2018. Vol. 23, no. 12. P. 3219. https://doi.org/10.3390/molecules23123219.

47. Noshe A.S., Al-Bayyar A.H. Effect of extraction method of Chia seeds Oil on its content of fatty acids and antioxidants. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017. Vol. 4, no. 10. P. 545–551.

48. Dąbrowski G., Konopka I., Czaplicki S. Variation in oil quality and content of low molecular lipophilic compounds in chia seed oils. *International Journal of Food Properties*. 2018. Vol. 21, no. 1. P. 2016–2029. https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1501699.

49. Ali R.F.M., El-Anany A.M. Physico-chemical characteristics, nutritional quality, and oxidative stability of cold-pressed chia seed oil, date palm seed oil, along with their binary mixtures. *Cogent Food & Agriculture*. 2025. Vol. 11, no. 1. https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2466061.

50. M.M. Özcan et al. Effect of soxhlet and cold press extractions on the physico-chemical characteristics of roasted and non-roasted chia seed oils. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2018. Vol. 13, no. 1. P. 648–655. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9977-z.

51. S.S. Fernandes et al. Yield and quality of chia oil extracted via different methods *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 262. P. 200–208. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.019.

52. J. Parker et al. Therapeutic Perspectives on Chia Seed and Its Oil: A Review. *Planta Medica*. 2018. Vol. 84, no. 09/10. P. 606–612. https://doi.org/10.1055/a-0586-4711.

53. Abad A., Shahidi F. Compositional characteristics and oxidative stability of chia seed oil (*Salvia hispanica* L). *Food Production, Processing and Nutrition*. 2020. Vol. 2, no. 1. https://doi.org/10.1186/s43014-020-00024-y.

54. Pylypenko L. et al. The safe transdermal cosmetic product with antityrosinase activity *Food science and technology*. 2019. Vol. 13, Issue 3. P. 127–135. http://dx.doi.org/10.15673/fst.v13i3.1481.

55. Salvia hispanica seed oil. *SpecialChem*. https://www.specialchem.com/cosmetics/inci-ingredients/salvia-hispanica-seed-oil.

56. Y. Tak et al. Repurposing chia seed oil: A versatile novel functional food *Journal of Food Science*. 2022. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16211.

57. Di Marco A.E., Ixtaina V.Y., Tomás M.C. Inclusion complexes of high amylose corn starch with essential fatty acids from chia seed oil as potential delivery systems in food. *Food Hydrocolloids*. 2020. Vol. 108. P. 106030. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106030.

58. Razavizadeh B.M., Tabrizi P. Characterization of fortified compound milk chocolate with microcapsulated chia seed oil. *LWT*. 2021. Vol. 150. P. 111993. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111993.

59. V.M. Rojas et al. Formulation of mayonnaises containing PUFAs by the addition of microencapsulated chia seeds, pumpkin seeds and baru oils *Food Chemistry*. 2019. Vol. 274. P. 220–227. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.015.

ДОДАТКИ