

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

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

**Обґрунтування технології виробництва олії з
насіння розторопші плямистої**

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,
групи МгХТз-1-24
освітньо-професійної програми «Харчові
технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Олена ТЕРТИШНА

Керівник: _____ Наталія СОВА

Дніпро 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
_____ Віталій КОШУЛЬКО

«__» _____ 2025 р.

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

Тертишній Олені Вікторівні

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології виробництва олії з насіння розторопші плямистої».
- Керівник роботи: Сова Наталя Анатоліївна, кандидатка технічних наук, доцентка, затверджені наказом закладу вищої освіти від «24» жовтня 2025 року №3183.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 10 грудня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: 1. Літературні джерела та періодичні видання. 2. Наукова та науково-технічна документація, що стосується переробки насіння розторопші плямистої 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 розторопші плямистої як олійної сировини.
- 3) Прилади і обладнання, використане в дослідженні.
- 4) Схема одержання дослідних зразків олії розторопші.
- 5) Результати експериментальних досліджень.
- 6) Картка безпеки праці оператора лінії з виробництва олії розторопші.
- 7) Кошторис витрат на проведення дослідження.
- 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	24.10.25	10.12.2025

7. Дата видачі завдання 24 жовтня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	24.10-26.10.2025	виконано
2	Оглядовий розділ	27.10-02.11.2025	виконано
3	Дослідницько-аналітичний розділ	03.11-09.11.2025	виконано
4	Експериментальний розділ	10.11-25.11.2025	виконано
5	Охорона праці та захист навколишнього середовища	26.11-30.11.2025	виконано
6	Організаційно-економічний розділ	01.12-04.12.2025	виконано
7	Загальні висновки і пропозиції, бібліографія	05.12-08.12.2025	виконано
8	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	09.12-10.12.2025	виконано

Здобувачка вищої освіти _____ Олена ТЕРТИШНА
(підпис)

Керівник роботи _____ Наталія СОВА

РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування технології виробництва олії з насіння розторопші плямистої».

Кваліфікаційна робота магістра: 81 с., 15 рисунків та ілюстрацій, 9 таблиць, 75 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – насіння розторопші плямистої (*Silybum marianum* L.) сорту Бойківчанка та процес отримання олії шляхом механічного пресування в різних температурних режимах.

Предмет дослідження – закономірності впливу температури пресування на ефективність вилучення олії, її фізико-хімічні показники (вихід, кислотне число, пероксидне число, колірні характеристики), а також властивості отриманої макухи.

Мета роботи – науково обґрунтувати вплив температурних режимів пресування насіння розторопші плямистої на вихід та якість олії, встановити оптимальний температурний діапазон, що забезпечує мінімальні технологічні втрати та збереження термочутливих компонентів.

Методи дослідження включали комплекс підходів: визначення масової частки вологи та ступеня засміченості насіння розторопші; встановлення вологості шляхом висушування подрібненого матеріалу за температури 105 (± 2) °C до сталої маси; пресування насіння з фіксацією температурних режимів; очищення отриманої олії через центрифугування; визначення кислотного й пероксидного чисел титрометричним аналізом; екстракція етанолом в апараті Сокслета для оцінки залишкового вмісту олії в макусі та насінні; визначення кольорових параметрів у системі CIE Lab; статистична обробка отриманих даних із використанням дисперсійного аналізу (ANOVA).

У кваліфікаційній роботі досліджено вплив температурних режимів пресування на вихід, фізико-хімічні показники та якість олії, отриманої з насіння розторопші плямистої сорту Бойківчанка. Експериментально встановлено оптимальний діапазон температур 60–90 °C, який забезпечує максимальний вихід олії, стабільні показники кислотного та пероксидного чисел, а також сприяє збереженню кольорових характеристик і органолептичних властивостей. Наукова новизна полягає у визначенні закономірностей впливу температури на інтенсивність дифузійних та термоокиснювальних процесів у макусі та готовому продукті. Практична значущість роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оптимізації промислових технологій видобування олії з насіння розторопші та підвищення її якості у виробництві харчових і функціональних продуктів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

НАСІННЯ РОЗТОРОПШІ, ОЛІЯ, ТЕМПЕРАТУРА ПРЕСУВАННЯ, ВИХІД ОЛІЇ, КИСЛОТНЕ ЧИСЛО, ПЕРОКСИДНЕ ЧИСЛО, ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОЛІЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1. Загальна характеристика розторопші як об'єкта дослідження	9
1.2 Огляд технологій виробництва олії розторопші.....	18
1.3 Огляд обладнання для виробництва олії розторопші.....	23
Висновки до розділу	30
2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	32
Висновки до розділу	37
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	39
Висновки до розділу	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ...	53
4.1 Охорона праці в навчальній лабораторії кафедри харчових технологій	53
4.1.1 Загальні положення та нормативна база	53
4.2 Характеристика виробничого середовища та потенційних небезпечних факторів	54
4.3 Вимоги безпеки під час роботи з пресом для видобування олії.....	55
4.3.1 Підготовка до роботи	55
4.3.2 Основні вимоги безпеки.....	55
4.4 Безпека під час центрифугування зразків	56
4.4.1 Підготовка.....	56
4.4.2 Під час роботи	56
4.5 Вимоги безпеки під час сушіння в сушильній шафі	56
4.5.1 Правила експлуатації	56
4.5.2. Додаткові вимоги	57

	5
4.6 Охорона праці під час проведення хімічного аналізу	57
4.6.1 Засоби індивідуального захисту	57
4.6.2. Вимоги до проведення аналізів	57
4.7 Вимоги безпеки під час роботи з електричним млином	58
4.8 Пожежна безпека.....	58
4.9 Електробезпека	58
4.10 Мікроклімат, освітлення та вентиляція.....	59
4.11 Організація безпечного робочого місця.....	59
4.12 Дії в аварійних ситуаціях	59
4.13 Розробка картки безпеки праці.....	60
4.14 Поводження з відходами від виробництва олії з насіння розторопші .	61
Висновки до розділу	61
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	63
Висновки до розділу	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	69
БІБЛІОГРАФІЯ	72

ВСТУП

Одним із провідних завдань сучасних харчових технологій є розроблення продуктів, що поєднують високі органолептичні властивості з наявністю комплексу біологічно активних компонентів, здатних чинити позитивний вплив на здоров'я людини [1, 2]. У цьому напрямі особливе значення має введення до рецептури харчових виробів есенціальних нутрієнтів, що сприяє підвищенню їхньої фізіологічної цінності та зміцненню профілактичної функції раціонів. Водночас зміна традиційного складу їжі потребує всебічного наукового обґрунтування, оскільки будь-які модифікації впливають на метаболічні процеси та загальний функціональний стан організму.

Використання рослинних інгредієнтів у харчовій промисловості має суттєві переваги [3]. По-перше, зростає попит споживачів на продукцію, що відповідає принципам раціонального та здорового харчування. Це пов'язано з поширенням ідей адекватного харчування та активним просуванням профілактичних підходів у медицині [4, 5]. По-друге, додавання рослинної сировини сприяє поліпшенню смакових характеристик, текстури та консистенції харчових виробів, а також підвищує їхню поживну та біологічну цінність.

По-третє, зберігає актуальність потреба у заміні традиційних інгредієнтів, зокрема модифікованих соєвих білкових ізолятів, які широко застосовують у виробництві, проте мають низку технологічних і споживчих обмежень. Сьогодні виробництво функціональних харчових продуктів вважають одним із найперспективніших напрямів розвитку харчової індустрії, зокрема олійножирового сектору. Зростання інтересу до такої продукції зумовлене підвищеною увагою споживачів до виробів, які не тільки забезпечують організм енергією та основними поживними речовинами, а й мають профілактичні або коригувальні властивості. До цієї групи належать продукти функціонального призначення, що охоплюють як спеціалізоване

харчування (для спортсменів, дітей, вагітних), так і продукцію для широкого кола споживачів. Олієвмісна сировина, зокрема насіння розторопші, може слугувати перспективною основою для створення харчових продуктів із підвищеною функціональністю. Комплекс біологічно активних речовин цієї сировини – жирні кислоти, харчові волокна, вітаміни, мінеральні елементи та флаволіднани – позитивно впливає на метаболічні процеси, підсилює антиоксидантний захист організму та проявляє гепатопротекторні властивості.

Особливу цінність становлять харчові волокна, які беруть участь у регуляції фізико-хімічних характеристик жовчі, підтримують секреторну та дренажну активність жовчного міхура та сприяють відновленню вітамінно-мінерального статусу [6].

Отже, використання продуктів переробки насіння розторопші у харчових технологіях слід розглядати як перспективний напрям функціоналізації харчових виробів. Біологічно активний комплекс цієї сировини може виступати як природний мінорний компонент у складі харчових продуктів, сприяючи профілактиці метаболічних порушень та підвищенню неспецифічної резистентності організму до дії несприятливих факторів довкілля.

Аналіз наукових джерел показує відсутність узгоджених даних щодо оптимальних температурних режимів отримання олії розторопші, а наявні дослідження фрагментарні й не охоплюють комплексної оцінки впливу температури на вихід, стабільність та фізико-хімічні характеристики олії. Це формує наукову та практичну потребу в обґрунтуванні температурних умов, які забезпечують максимальний вихід і мінімальні втрати цінних компонентів, що особливо важливо для промислового вдосконалення технології.

Об'єкт дослідження – насіння розторопші плямистої (*Silybum marianum* L.) сорту Бойківчанка та процес отримання олії шляхом механічного пресування в різних температурних режимах.

Предмет дослідження – закономірності впливу температури пресування на ефективність вилучення олії, її фізико-хімічні показники (вихід, кислотне

число, пероксидне число, колірні характеристики), а також властивості отриманої макухи.

Мета наукових досліджень – науково обґрунтувати вплив температурних режимів пресування насіння розторопші плямистої на вихід та якість олії, встановити оптимальний температурний діапазон, що забезпечує мінімальні технологічні втрати та збереження термочутливих компонентів.

Завдання наукових досліджень:

- проаналізувати фізико-хімічні характеристики насіння розторопші плямистої сорту Бойківчанка та оцінити його придатність до механічного пресування;

- встановити залежність фактичної температури олії на виході з преса від заданої температури процесу та оцінити її вплив на показники якості продукту;

- визначити вихід нефільтрованої та фільтрованої олії за температур 40–130 °С та встановити температурний режим, за яким досягається максимальна ефективність вилучення;

- оцінити технологічні втрати олії в різних температурних режимах та встановити температури, що сприяють їх мінімізації;

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

- дослідити вплив температури та фільтрації на колірні характеристики олії у системі CIE Lab*;

- оцінити зміни вологості та виходу макухи за різних температурних режимів як індикаторів ефективності процесу пресування;

- на основі сукупних даних визначити оптимальний температурний діапазон пресування та сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо його застосування у промислових умовах.

1 ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ

1.1. Загальна характеристика розторопші як об'єкта дослідження

Розторопша плямиста (*Silybum marianum* L.) – це трав'яниста рослина родини айстрових (*Asteraceae*), що належить до роду *Silybum* (рис. 1.1). Назва *Silybum* має латинське походження і пов'язана зі словом «пензлик», тоді як *Marianum* асоціюється з ім'ям Діви Марії [7]. До цього роду входять два різновиди: *S. marianum* (L.) Gaertn, який має характерне строкате листя, та *S.*



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд квітки розторопші (свіжої, засушеної) та її насіння

eburneum Coss. et Durieux із повністю зеленими листками. Водночас існують наукові роботи, у яких зазначено, що на генетичному рівні ці форми фактично є варіантами однієї й тієї самої рослини. Батьківщиною розторопші вважають Південну Європу, регіони Малої Азії та Північної Африки [3]. Просторове поширення *Silybum marianum* у світі визначено на основі даних онлайн-платформи GBIF [8], (рис. 1.2) Культура

відома високою стійкістю до несприятливих умов середовища, зокрема до низьких температур, дефіциту вологи та підвищеної солоності ґрунтів [7, 9]. В Україні основні площі під розторопшу зосереджені в південних областях – Херсонській, Миколаївській та Одеській. Загальні посіви становлять приблизно 5 тис. га. Також зростання інтересу до цієї культури та збільшення посівних площ спостерігається у сусідніх країнах, зокрема в Молдові та Казахстані [10].

Насіння розторопші плямистої характеризується високим вмістом біологічно активних речовин, що зумовлює перспективність його використання у харчових технологіях.

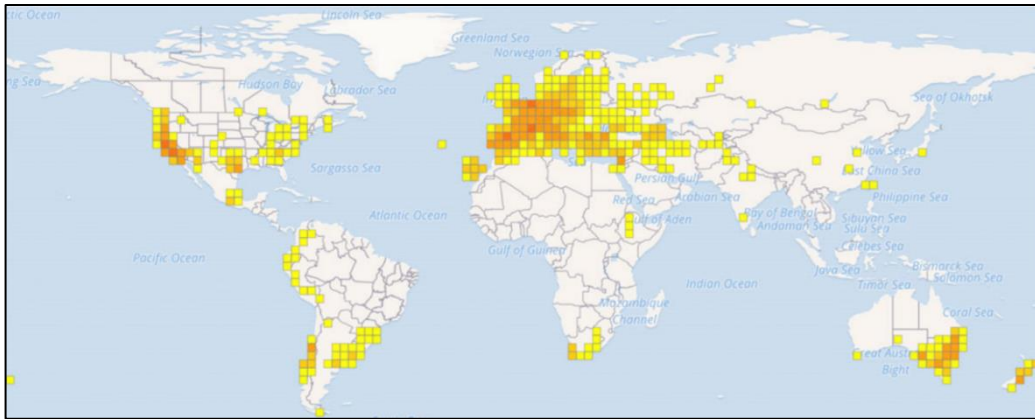


Рисунок 1.2 – Карта географічного поширення *Silybum marianum*

У повсякденній практиці розторопшу плямисту (*Silybum marianum*) часто сприймають як звичайний бур'ян, який видаляють під час догляду за городніми культурами. Проте в Шотландії ця рослина має особливий культурний статус і вважається національним символом, що відображено навіть на державному гербі. Історичні перекази пов'язують його появу на гербі з подією, коли будяк, за легендою, став на заваді раптовому нападу вікінгів: один із нападників наступив на колючку, видав вигук болю й тим самим зірвав засідку. З того часу рослину почали розглядати як оберіг [11, 12].

S. marianum традиційно асоціюється також зі столицею Шотландії – Единбургом. Англійською мовою її називають thistle. Рослина добре переносить сильні вітри, низькі температури й рясні опади, успішно зростаючи навіть на малородючих кам'янистих ґрунтах. У період історичних конфліктів англійці іронічно називали розторопшу «шотландською трояндою» [13, 14, 15].

У зв'язку з тим, що насіння *Silybum marianum* легко переноситься вітром, культура може створювати ризики самосіву та поширення бур'янів на прилеглі ділянки, що вимагає застосування спеціальних заходів контролю. Зокрема, у Канаді для запобігання втратам та неконтрольованому розповсюдженню кожен квіткову головку накривають сітчастими мішечками до повного досягання, після чого суцвіття зрізають, залишаючи близько 2,5 см стебла. Канадські виробники також наголошують на важливості

ретельного контролю якості сировини, оскільки це прямо впливає на конкурентоспроможність та ринкову ціну фітопрепаратів [16, 17].

В Україні селекційним насінням розторопші плямистої займається компанія «БіоРозторопша», що працює у Вознесенську Миколаївської обл. [18]. Під культивування *S. marianum* з 2010 р. відведено понад 420 га у Миколаївській, Кіровоградській та Запорізькій областях. Вироблене насіння характеризується високою схожістю (95–97 %) і забезпечує врожайність на рівні 1–1,6 т/га залежно від технологічних та агротехнічних умов. Середня норма висіву становить 10–20 кг на 1 га.

Хімічний склад насінневих плодів *Silybum marianum* характеризується переважанням флавонолігнанів, поряд із терпеновими компонентами та ліпідною фракцією. Найбільшу частку біоактивних речовин формують саме флавонолігнани [19]. Комплекс силімарину об'єднує низку цих сполук – зокрема силібін, ізосилібін, силідіанін та силикрин. Їх біогенез пов'язана з реакціями дегідратаційно-конденсаційного типу за участю дигідрофлавонолів та фенілпропаноїдних похідних, у результаті чого утворюються характерні структури флавонолігнанів [20].

У насінні *Silybum marianum* міститься приблизно п'ята частина білкових речовин та близько третини крохмалю. Крім флавонолігнанів і флавоноїдів, рослина містить невеликі кількості тритерпенових сполук, а також широкий спектр поліацетиленів, поліолефінів, стеролів і певних алкалоїдів, що доповнюють її вторинний метаболітний профіль [21].

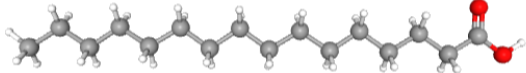
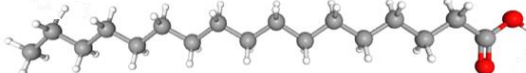
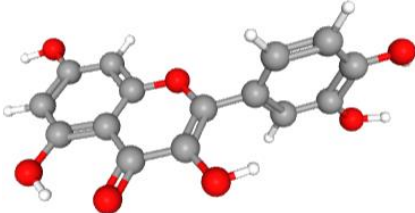
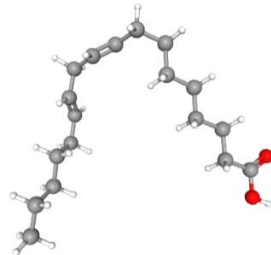
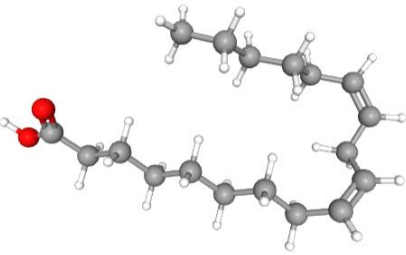
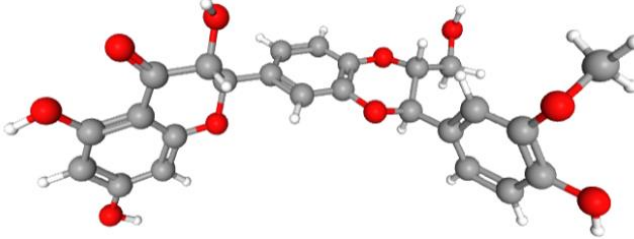
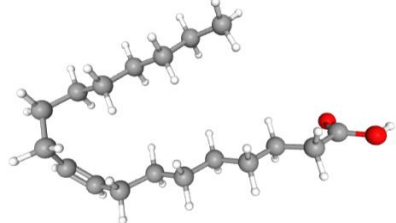

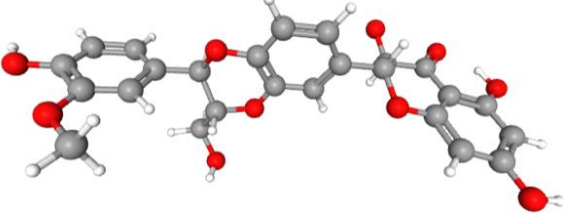
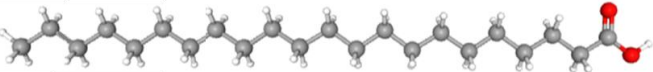
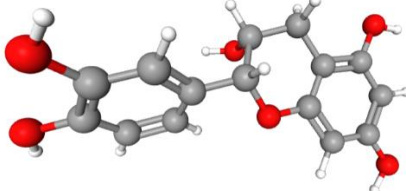
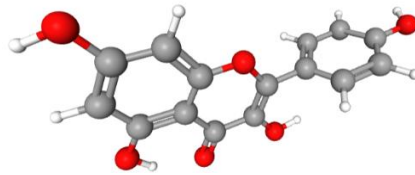
Дослідження хімічного складу *Silybum marianum* активно розпочалося наприкінці 1960-х років. У 1968 р. група під керівництвом Вагнера вперше отримала фармакологічно значущий комплекс силімарину із насіння рослини [22]. Того ж року Пельтер і Гензель виділили окрему сполуку – силібін [23]. Подальші роботи Вагнера (1971) [24] привели до встановлення ще одного компонента – силикрину, будову якого підтверджено у 1974 р. за даними Пельтера та співавторів [25]. У 1976 р. було описано силідіанін, а через кілька

років – його регіональний ізомер ізосилідіанін [26]. У 1981 р. повідомлено про виявлення ізосилікристину [27].

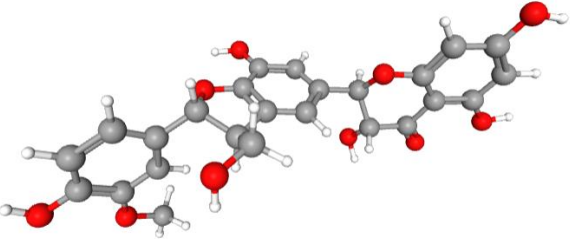
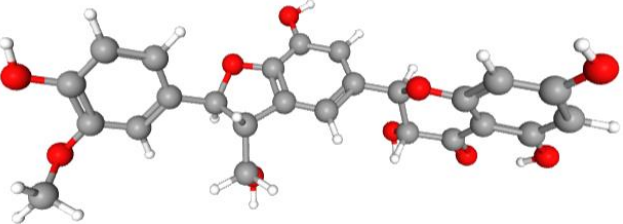
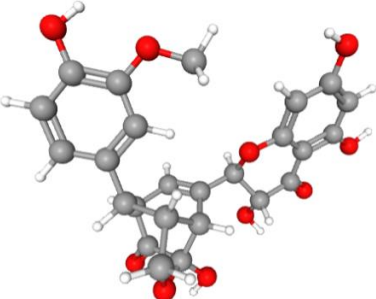
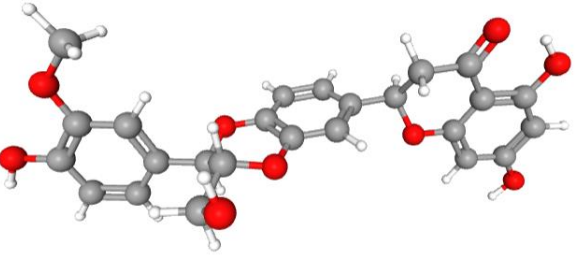
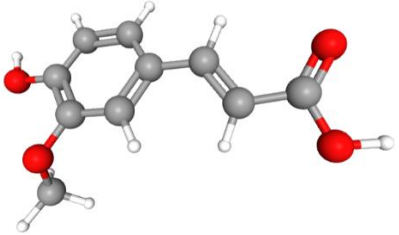
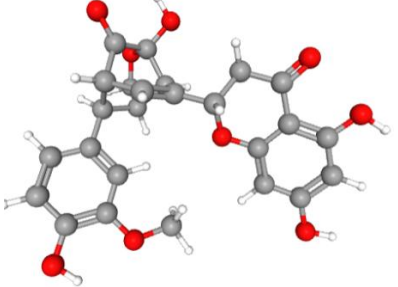
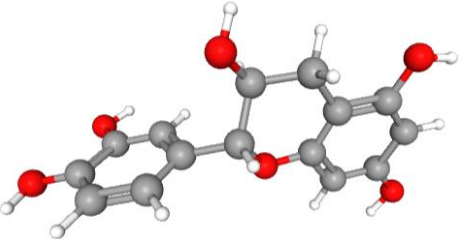
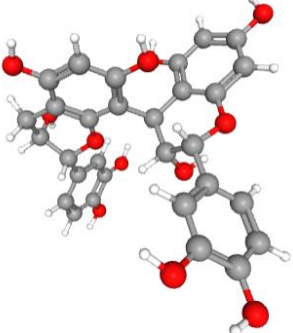
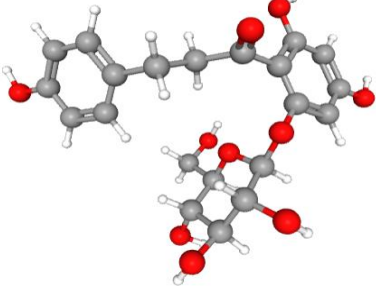
Подальший розвиток аналітичних методів дав змогу у 2003 р. ідентифікувати ізомерні форми силібінів – силібін А, силібін В, ізосилібін А та ізосилібін В. Сучасні дослідження показують, що ахени *S. marianum* містять широкий спектр флавонолігнанів – понад два десятки структурних варіантів, включаючи силікристини А і В. Окрім флавонолігнанів, у рослині наявні інші фенольні компоненти: кверцетин, нарингенін, кемпферол, та інші представники флавоноїдної групи [28]. На основі даних [29] досліджень встановлено, що олійна фракція насіння *Silybum marianum* становить у середньому 25–30 %, при цьому домінує лінолева кислота (близько 46 %), а її якісний і кількісний профіль варіює залежно від регіону вирощування: у зразках з Єгипту вміст олії сягає приблизно 35 % і додатково визначено бегенову та арахідову кислоти, тоді як у насінні індійського походження виявлено також стеаринову та миристинову кислоти [30].

Основну частку біологічно активних речовин становить жирна олія (25–32 %), до складу якої входить комплекс есенціальних жирних кислот та жиророзчинних вітамінів (А, D, Е, К, F), що зумовлює її антиоксидантний потенціал та здатність стабілізувати клітинні мембрани. Ліпідна фракція насіння розторопші плямистої включає такі жирні кислоти: лінолеву – 56,57 %, олеїнову – 20,73 %, пальмітинову – 8,01 %, стеаринову – 4,79 %, арахінову – 2,70 %, бегенову – 2,09 %, нонадецілову – 1,11 %, лігноцерінову – 0,69 % та міристинову – 0,09 %. У листовій частині рослини ідентифіковано флавоноїди (апігенін, лютеолін, кемпферол та їх глікозиди), β -ситостерол та його глікозиди [31]. При цьому силімарин у листі розторопші відсутній [32]. Також у складі визначено наявність ефірних олій, білкових речовин (15–17 %), харчових волокон (до 26 %), водорозчинних вітамінів групи В, простих цукрів, а також широкого набору макро- та мікроелементів, серед яких калій, кальцій, залізо, магній, селен, цинк, бор, йод та мідь. Вигляд типових хімічних складових, які містить розторопша зведено до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічні структури флавонолігнанів, жирних фенольних кислот та кислот, які містить розторопша [33, 34]

Пальмітинова кислота $C_{16}H_{32}O_2$	Стеаринова кислота $C_{18}H_{36}O_2$	Кверцетин $C_{15}H_{10}O_7$
		
Ліноленова кислота $C_{18}H_{32}O_2$	Лінолева кислота $C_{18}H_{32}O_2$	Сілібін $C_{25}H_{22}O_{10}$
		
Олеїнова кислота $C_{18}H_{34}O_2$	Арахінова кислота $C_{20}H_{40}O_2$	Ізосілібін А $C_{25}H_{22}O_{10}$
		
Бегенова кислота $C_{22}H_{44}O_2$	Епікатехін $C_{15}H_{14}O_6$	Кемпферол $C_{15}H_{10}O_6$
		

Продовження табл. 1.1

Silychristin $C_{25}H_{22}O_{10}$	Silychristin B $C_{25}H_{22}O_{10}$	Silydianin $C_{25}H_{22}O_{10}$
		
Silandrin $C_{25}H_{22}O_9$	Ferulic Acid $C_{10}H_{10}O_4$	Silymonin $C_{25}H_{22}O_9$
		
Catechin $C_{15}H_{14}O_6$	Procyanidin B2 $C_{30}H_{26}O_{12}$	Phlorizin $C_{21}H_{24}O_{10}$
		

Застосування *S. marianum* як лікувальної рослини має тривалу історію: її використання задокументоване ще в античні часи, передусім у контексті терапії уражень печінки та як засіб при отруєннях, включаючи укуси отруйних змій [35].

Завдяки розвитку сучасних досліджень механізми дії силімарину описані більш детально. Встановлено, що комплекс може запобігати фіброзуванню печінкової тканини, стабілізувати клітинні мембрани гепатоцитів і сприяти їх відновленню та регенерації, що визначає його цінність як гепатопротекторного препарату [36].

Фармакологічно активні речовини розторопші, завдяки низькій токсичності, мінімальним побічним ефектам, вираженій протипухлинній активності та здатності посилювати дію протиракових препаратів, перебувають у центрі сучасних досліджень, оскільки виявляють також антидіабетичний, кардіопротекторний, антитромботичний, антиоксидантний та гастропротекторний ефекти [37, 38, 39]. Силімарин, як ключовий біоактивний компонент розторопші, проявляє лікувальні властивості, зокрема здатність пригнічувати ріст пухлинних клітин, зменшувати їх проліферацію та обмежувати метастатичні процеси [40].

Фармакологічний профіль силімарину є широким: сукупність сполук виявляє гепатопротекторні, протипухлинні, антиоксидантні, протизапальні, гіпоглікемічні, нейропротекторні, кардіопротекторні та імуномодулювальні властивості (рис. 1.3) [41], 42]. Особливу цінність становлять фенольні сполуки, зокрема флаволігнани.

Окрім доведеного терапевтичного потенціалу її біоактивних компонентів, *Silybum marianum* вирізняється широкими можливостями практичного використання – від отримання олії та білкового концентрату до виробництва кормів та меду, що підвищує універсальність та господарську цінність культури [43] (рис. 1.4).

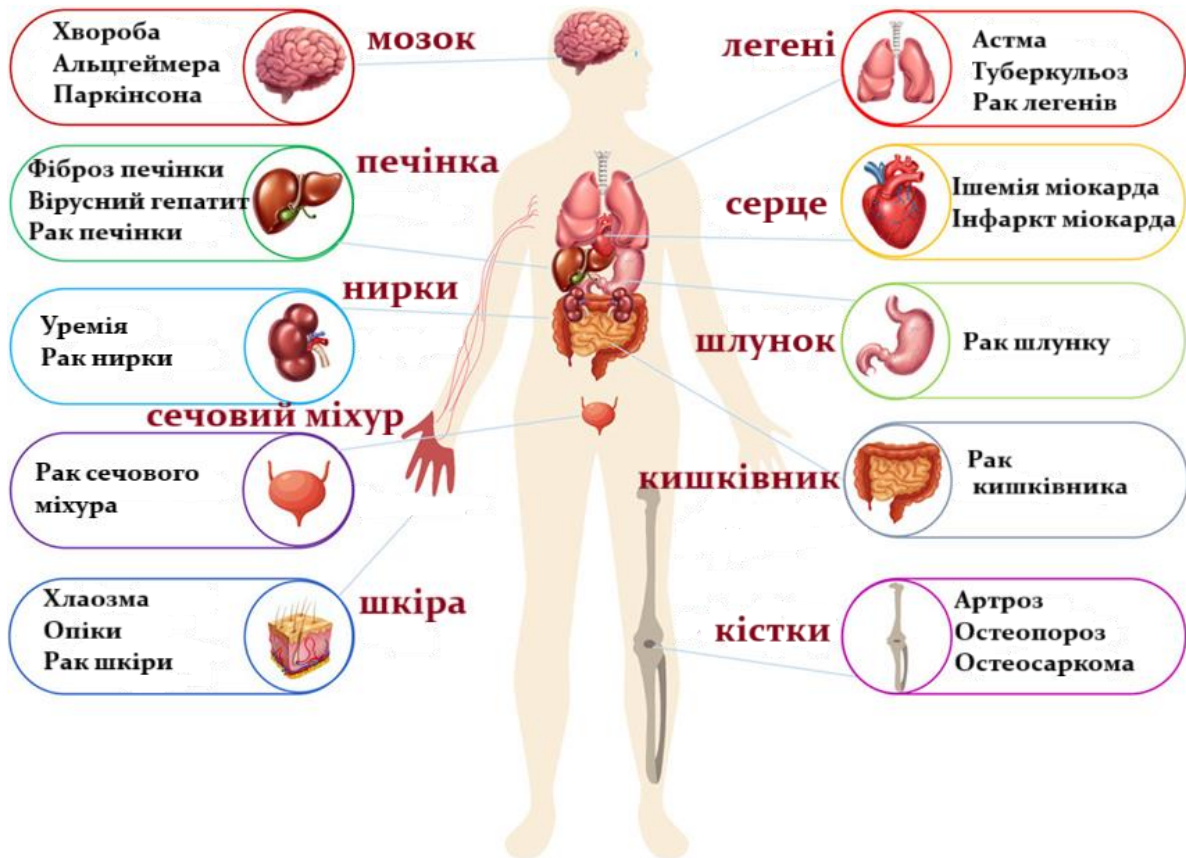


Рисунок 1.3 – Фармакологічні ефекти та дія *S. maritimum* на органи людини

Харчова олія



Вміст олії 30-35 %, містить різноманітні елементи

Корм



Багатий крохмалем, білком, корисний тваринам

Косметика



Має антиоксидантний ефект і покращує стан шкіри

Їжа



Молоді листя ніжні та соковиті, екстраговану олію та білки можна вживати в якості їжі

Мед



Квіти велики та чисельні, а мед має високу якість

Рисунок 1.4 – Комплексне використання розторопші

Отже, цілком обґрунтованим є підхід, за якого олію розторопші плямистої розглядають не лише як сировину для фармацевтичного

використання, а й як потенційний харчовий продукт, що характеризується значною біологічною активністю.

Колір є ключовою органолептичною характеристикою вилучених олій, що суттєво впливає на сприйняття продукту споживачем і часто використовується як індикатор технологічної якості та ступеня окиснення.

Колір виступає однією з основних органолептичних характеристик рослинних олій холодного пресування і відіграє вирішальну роль у формуванні споживчих уподобань та комерційної привабливості продукту. Для олії розторопші візуальна оцінка забарвлення має додаткове практичне значення: відтінок і інтенсивність кольору корелюють із вмістом каротиноїдів, токоферолів та продуктів первинного або вторинного окиснення, що відображає як якість початкової сировини, так і обрані технологічні режими пресування та зберігання. У наукових дослідженнях колір олій зручно кількісно описують за показниками CIE Lab* або через шкали, наприклад, Lovibond [44]; такі вимірювання дозволяють порівнювати партії, встановлювати кореляції з хімічними маркерами (каротиноїди, пероксиди) і використовувати колір як один із критеріїв приймання сировини та контролю якості готової продукції. Для виробництва та сертифікації олії розторопші доцільно поєднувати суб'єктивну органолептичну оцінку (візуальний огляд) з кількісними спектрофотометричними показниками, що підвищує достовірність висновків щодо свіжості, стабільності та відповідності продукту ринковим очікуванням.

За визначенням CIE, колір є властивістю візуального сприйняття, яку описують через такі атрибути, як відтінок, світлість та насиченість. Вимірювання кольору базується на реєстрації довжин хвиль світла, що відбивається або проходить через об'єкт. Спектрофотометричні прилади фіксують інтенсивності окремих ділянок видимого спектра, після чого спектральні дані перетворюються у координати відповідного колірного простору за допомогою математичних алгоритмів.

Модель CIE Lab* є однією з найпоширеніших систем кількісного опису кольору та застосовується як універсальний стандарт для порівняння характеристик різних зразків. У цій моделі показник L^* відображає світлість (від 0 – чорний до 100 – білий), координата a^* характеризує зміщення в напрямку зеленого-червоного, а b^* – у напрямку синього-жовтого. Діапазон кольорів, що охоплюється простором Lab*, ширший, ніж у системах RGB чи СМУК, оскільки ця модель не прив'язана до параметрів конкретного пристрою й використовується як еталонна. Система CIE Lab* застосовує декартові координати для точного опису колірних характеристик і дозволяє виконувати об'єктивні порівняння між різними зразками у дослідженнях фізико-хімічних властивостей, зокрема у визначенні кольору олій рослинного походження.

1.2 Огляд технологій виробництва олії розторопші

У промисловому виробництві рослинні олії отримують переважно двома технологічними підходами: шляхом механічного пресування та за допомогою екстракції із використанням розчинників [45], а також сучасні «підсилюючі» методи – ультразвукова, мікрохвильова та ензимна асистована екстракція. Застосовують також комбіновані послідовні підходи для селективного виділення тригліцеридів і біоактивних флавонолігнанів.

Механічне пресування вирізняється технологічною простотою, проте характеризується суттєвими втратами: у макусі може залишатися до 20 % олії. Це негативно впливає на економічні показники та ускладнює подальшу утилізацію відходів.

На відміну від цього, екстракційні методи із застосуванням розчинників забезпечують значно глибше вилучення ліпідної фракції – на рівні 95–99 %, хоча й потребують більш складного обладнання та ретельного добору екстрагенту. Процес масоперенесення при екстрагуванні включає внутрішню

й зовнішню дифузію компонентів, причому визначальним етапом є повільне проникнення речовин крізь клітинні структури насіння, що обмежує загальну швидкість процесу [46]. Для підвищення ефективності використовують як полярні, так і неполярні розчинники з різними селективними властивостями. Найпоширенішим традиційно є н-гексан, однак його токсичність та екологічні ризики значно обмежують застосування у виробництві харчових олій.

У цьому контексті перспективними вважають альтернативні екологічні розчинники. Серед них особливу увагу привертає етанол, оскільки він є недорогим, доступним, демонструє достатню розчинувальну здатність за невисоких температур, не взаємодіє з більшістю металів та є відносно безпечним для харчових систем[47]. Завдяки таким характеристикам етанол розглядають як ефективний розчинник для додаткового вилучення залишкової олії з макухи після механічного віджимання, що дає змогу підвищити вихід продукту та одночасно зменшити втрати й екологічний вплив виробництва.

Підвищення вимог до екологічності виробництва стимулює перехід від класичних органічних розчинників до технологій, що відповідають принципам «зеленої хімії». Однією з таких технологій є екстракція надкритичною рідиною (SFE), де як екологічно безпечний екстрагент застосовують надкритичний діоксид вуглецю [48, 49]. Використання CO₂ у надкритичному стані має низку суттєвих переваг: інертність, нетоксичність, доступність, низька вартість та можливість повного видалення з кінцевого продукту без залишкових слідів. Відсутність залишків розчинника усуває проблему, характерну для традиційних методів екстракції гексаном та іншими леткими органічними розчинниками, і дозволяє здійснювати подальшу переробку рослинної біомаси без додаткових енергоємних етапів сушіння.

Застосування надкритичного CO₂ узгоджується з вимогами харчової, косметичної та фармацевтичної промисловостей, де екстрагенти повинні бути безпечними та відповідати нормативним вимогам. Технологія SFE дозволяє мінімізувати утворення відходів, скоротити тривалість процесу та зменшити енергозатрати, що підвищує загальну економічну ефективність виробництва.

Вивчення параметрів процесу SFE є ключовим елементом для оптимізації технології. До таких параметрів належать: умови вирощування рослинної сировини, тривалість та умови зберігання насіння, ступінь подрібнення, кількість завантаженої сировини у співвідношенні до об'єму екстрактора, робочий тиск і температура, тривалість екстракції та співвідношення маси розчинника до маси вихідної сировини. Сукупний вплив цих чинників визначає кінетику екстракції та вихід цільових компонентів.

Окрему увагу у сучасних дослідженнях приділяють екстракційним установкам, що працюють під високим тиском – близько 450 бар. Такі режими дозволяють ефективно вилучати ліпідні та поліфенольні фракції, а також проводити порівняльну характеристику екстрактів за вмістом фенольних сполук, флавоноїдів та антиоксидантною здатністю.

Екстракція надкритичним CO₂ дає можливість отримувати біологічно активні екстракти без термічного руйнування компонентів, а також сприяє раціональному використанню рослинної сировини. Окремі роботи демонструють потенціал твердих залишків після SFE у подальших процесах переробки та валоризації рослинних відходів 50. Для детальної характеристики екстрактів широко застосовують газову хроматографію з мас-спектрометрією (ГХ-МС) та газову хроматографію з полум'яно-іонізаційним детектором (ГХ-ПД), що дозволяє отримати повну картину компонентного складу.

Таким чином, використання надкритичного CO₂ у технологіях вилучення біоактивних речовин із насіння розторопші відповідає концепції сталого розвитку та дозволяє отримувати високоцінні продукти з перспективою застосування у харчових, фармацевтичних та косметичних технологіях. Дійсно, надкритичне екстрагування CO₂ дає чистіший екстракт і спрощує очищення, але потребує значних капіталовкладень у обладнання та точного контролю параметрів [48]. Системне вивчення впливу технологічних параметрів SFE забезпечує можливість точного прогнозування результатів

процесу, підвищення його ефективності та масштабування до промислових умов.

У публікації [51] проведено порівняльне дослідження хімічного складу ліпідної фракції, вмісту нутрицевтиків, антиоксидантних властивостей та термічних характеристик олії, отриманої з насіння китайської розторопші різними методами екстракції. Аналізували три технологічні підходи: вилучення олії органічними розчинниками (гексаном та етанолом) та отримання олії методом холодного пресування.

Результати експериментальної роботи показали, що спосіб екстракції практично не впливає на жирнокислотний склад і профіль триацилгліцеролів. Незалежно від технології, що використовували, основними жирними кислотами залишалися лінолева (45,83–46,41 %) та олеїнова (30,12–30,59 %). Серед триацилгліцеролів домінували OLL-тип (олеїнова-лінолева-лінолева, близько 20–21 %), за яким слідували LLL (лінолева-лінолева-лінолева, приблизно 18 %), POL (пальмітинова-олеїнова-лінолева, близько 15 %) та PLL (пальмітинова-лінолева-лінолева, орієнтовно 11 %). Таким чином, базові ліпідні компоненти є структурно стабільними та мало залежними від технологічних умов вилучення.

Натомість вміст другорядних біоактивних речовин та інтенсивність антиоксидантної дії помітно різнилися залежно від методу видобування. Етанольний екстракт характеризувався нижчим загальним рівнем токоферолів та фітостеролів, проте містив більше токотрієнолів та демонстрував підвищену здатність до нейтралізації вільних радикалів. Це свідчить про різну селективність розчинників щодо компонентів із антиоксидантним потенціалом. Але розчинникове екстрагування не є екологічно оптимальним через горючі та токсичні залишки розчинників, необхідність рекуперації розчинника та можливість екстракції небажаних домішок, крім того, термічна та хімічна обробка може змінювати колір, запах і окиснювальну стабільність олії. У порівнянні з холодним пресуванням, розчинникові методи частіше

застосовують під час лабораторних досліджень для повного аналізу ліпідного складу або як попередній крок перед вилученням полярних біоактивів [52].

Олія, отримана методом холодного пресування, відрізнялася більш складним профілем параметрів плавлення, що може бути пов'язано зі збереженням природних структурних елементів у ліпідній матриці. Такі характеристики важливі для оцінювання якості промислової олії та визначення оптимальних технологічних умов її перероблення.

Сучасні інтенсифікуючі технології (ультразвук, мікрохвилі, ензим-асистовані методи) використовують як самостійно, так і в поєднанні з розчинниками або SFE для підвищення ефективності вилучення та селективності. Ультразвукова екстракція пришвидшує масообмін і може підвищити вихід при нижчих температурах; мікрохвильова обробка покращує проникнення розчинника в клітини насіння; ензимні підготовки (целюлази, пектинази) розривають клітинні оболонки, полегшуючи доступ до ліпідів та флавонолігнанів. Ензим-асистовані та ультразвукові підходи показали потенціал у підвищенні вмісту силімарину в екстрактах зі збереженням якості олії, але вимагають оптимізації витрат на ферменти та енергію [53].

Комбіновані та селективні стратегії стають важливими, коли мета виробництва – одночасне отримання олії та високододаткових флавонолігнанів. Останні роботи демонструють послідовні схеми: спочатку вилучення тригліцеридів (наприклад, SFE за певних параметрах), після чого змінюють умови або додають модифікатор для вилучення полярних біоактивів; такі підходи дозволяють максимізувати загальну корисність сировини та забезпечити кращий контроль якості кінцевих фракцій, але потребують складної оптимізації процесу та додаткових інвестицій у технологічні ланки [54].

Отримані дані є цінним джерелом для порівняння ефективності різних способів одержання олії з насіння розторопші та можуть бути використані для обґрунтування вибору технологічних параметрів у виробництві харчових і нутрицевтичних продуктів.

1.3 Огляд обладнання для виробництва олії розторопші

Виробнича лінія з переробки насіння розторопші традиційно починається з приймання, очищення та сушіння сировини. Решітні, повітряні, барабанні сепаратори та магнітні уловлювачі забезпечують видалення домішок (каміння, ґрунт, рослинні залишки), що критично для запобігання поломкам пресового та шнекового устаткування і для гарантування однорідності подальшої обробки. Після очищення потрібно проводити кондиціювання або сушіння до оптимальної вологості (~8–10 %), оскільки підвищена вологість знижує ефективність видобування олії та підвищує ризик мікробіологічного псування.

На етапі підготовки серйозну роль відіграють розмелювальні установки та кондиціонери – термичні барабани або парові кондиціонери, які покращують доступ розчинників або механічний контакт насіння з пресом. У випадку холодного пресування оптимальна підготовка, яка включає дрібне подрібнення без підвищення температури, дозволяє зберегти чутливі біоактиви (токофероли, каротиноїди, флавонолігнани) і кращу органолептичну якість, тоді як для екстракційних способів інтенсифікація подрібнення підвищує вихід олії. Наукові та прикладні джерела в Україні підкреслюють важливість контролю температури та ступеню подрібнення для збереження біоактивних компонентів у кінцевому продукті.

Основне технологічне обладнання – пресові установки: шнекові (експеллери, рис. 1.5) та гідравлічні преси (рис. 1.6). Шнекові преси забезпечують безперервний режим роботи, високий ступінь автоматизації, можливість регулювання температури у виробничому каналі та продуктивність від кількох сотень кілограмів до десятків тонн за добу – їх перевага в рентабельності за середніх і великих об'ємів та у відносно невеликих капіталовкладеннях у порівнянні з надкритичним екстрагуванням CO₂. Гідравлічні преси дають більш високий ступінь пресування для дрібних

партій або спеціалізованого виробництва, (відсоток залишкової вологи в макусі менший), але зазвичай менш продуктивні в безперервному режимі роботи. Під час виробництв, що орієнтовані на «холодний віджим» як маркетингову нішу, шнекові преси з налаштуванням низької робочої температури є оптимальним компромісом між виходом і збереженням якості. На ринку України доступні як імпорتنі, так і вітчизняні преси, що полегшує впровадження ліній середніх потужностей.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.5 – Олійні шнекові преси типів: а) OP-500; б) з автоматичним керуванням температури OP-500H; в) 2ПШ-25; г) RP-1000

На глибину пресування олії на пресах впливає наступні основні фактори: тиск, що розвивається в пресі; температура і тривалість пресування.

Ефективність роботи шнекового преса визначається здатністю обладнання забезпечувати необхідну продуктивність та високий ступінь

вилучення олії за умови оптимальних техніко-економічних показників. У технології перероблення олійної сировини застосовують два основних типи шнекових пресів, що розрізняються за своєю функціональною роллю у виробничому процесі [55]: форпрес – обладнання для первинного вилучення олії з насіння або мезги перед стадією екстракції; експеллер – машина для завершального вилучення олії з форпресованої макухи з метою мінімізації залишкової олії.

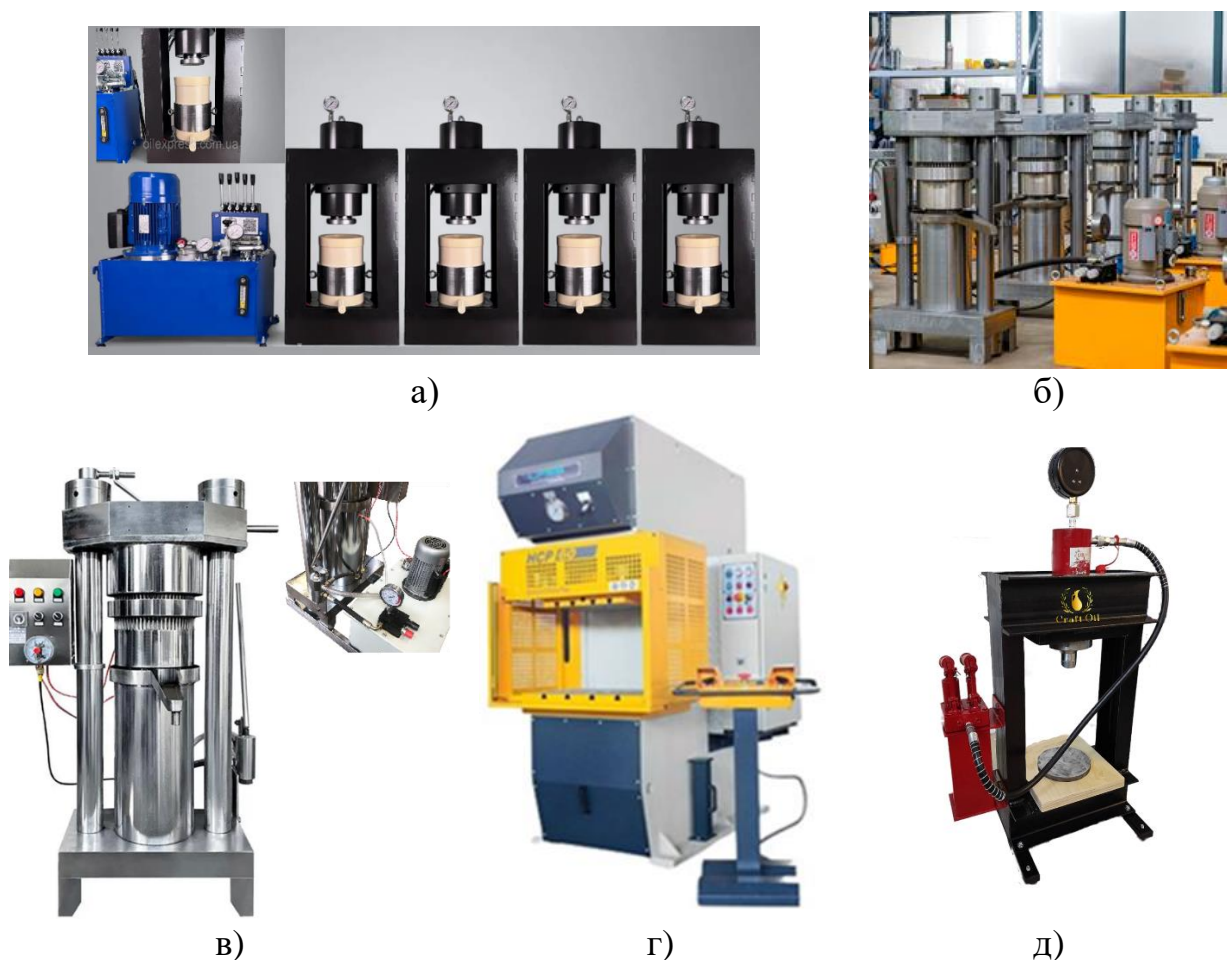


Рисунок 1.6 – Гідравлічний олійний прес типів: а) PROMAX 4 OilExpress; б) Oil Extractor 6SH-150 Auto; в) Tekhniko HydroOil Press OT-150; г) С-подібний прес НСР 60; д) Craft Oil листовий

Вилучення олії відбувається завдяки комплексному впливу: ущільненню мезги, дії витків шнека, тертю частинок пресованого матеріалу по внутрішній поверхні зерного циліндра та між собою, а також опору регульовального

механізму, який задає величину вихідного отвору для макухи (конус, діафрагма, кільце).

Форпресування насіння розторопші забезпечує вилучення до 35 % загального вмісту олії за нижчих енерговитрат порівняно з прямою екстракцією. Крім того, така операція покращує пористість та проникність макухи, що позитивно впливає на подальшу ефективність екстракційної стадії, збільшує пропускну здатність та стабільність роботи екстракторів.

У процесі пресування матеріал піддається поступовому наростанню тиску. Вихід олії зумовлений двома чинниками: дією зовнішніх механічних зусиль та збільшенням опірності мезги у процесі її ущільнення. Опірність визначається пластичними властивостями, що формуються під час термічної підготовки (смаження). Під дією перемішування та часткового перетирання відбуваються суттєві структурні зміни – руйнується зовнішня і внутрішня структура частинок насіння олійних культур. Це впливає на реологічні властивості та полегшує вихід олії.

У результаті пресування змінюються фізико-хімічні характеристики мезги: знижується в'язкість олії, спостерігається нижче кислотне число вилученого продукту порівняно з олією, що залишається в макусі. Білкова частина зазнає часткової денатурації та структурної перебудови, що проявляється у взаємній орієнтації молекул білку у радіальному напрямку від зеєра до вала преса.

Для досягнення максимальної віддачі ліпідів у масштабі переробки після механічного пресування широко використовують системи екстракції насіння, макухи: традиційні розчинникові установки – Сокслет, експандери, карусельні екстрактори з гексаном дають високий коефіцієнт вилучення, але пов'язані з екологічними та регуляторними ризиками через залишки розчинників та необхідність рекуперації (рис. 1.7).

Режими проведення екстракційного вилучення олії з насіння розторопші визначаються насамперед властивостями вибраного розчинника, оскільки саме вони задають робочі температури процесу, інтенсивність

масоперенесення та можливі обмеження щодо стабільності цільових сполук. Ключовим критерієм придатності екстрагенту є його селективність – здатність вибірково розчиняти ліпідну фракцію, не залучаючи надмірну кількість сторонніх домішок. Важливими є тип розчинника (полярний або неполярний), його фізико-хімічні характеристики, інертність щодо сировини, а також проникність у внутрішні структури насіння.



а)



б)



в)

Рисунок 1.7 – Екстракційне олійне обладнання типів: а) Лінія екстракції рослинної олії; б) Екстрактор промисловий; в) Експандер

Порівняльні дослідження показали, що полярні розчинники демонструють вищу ефективність розчинення рослинних олій [56]. Серед найбільш результативних виокремлено хлористий метилен, що завдяки поєднанню помірної полярності та низької температури кипіння забезпечує інтенсивніше масоперенесення, знижує теплові витрати і дає можливість проводити процес при м'яких температурних режимах. Це є важливим для збереження біологічно активних компонентів олії розторопші, передусім ненасичених жирних кислот та флавонолігнанів, чутливих до перегріву.

Окрім характеристик розчинника, значний вплив на ефективність екстрагування мають властивості вихідної сировини. До таких належать вологість, структура оболонки, ступінь подрібнення та наявність механічних включень. Подрібнення насіння істотно зменшує дифузійні бар'єри, що пришвидшує як внутрішньоклітинне переміщення ліпідів до поверхні розділу фаз, так і зовнішню дифузію у розчинник. Експериментальні дані підтверджують прямий кореляційний зв'язок між ступенем подрібнення та зростанням виходу олії [57].

Важливим аспектом є оцінка якості отриманої олії залежно від умов екстракції та природи екстрагента. Температурний режим впливає як на швидкість вилучення, так і на стабільність хімічного складу: надмірне підвищення температури прискорює окиснення, ізомеризацію та деградацію біоактивних компонентів. Тому під час технологічного планування необхідно оптимізувати не лише вихід, а й збереження цільових фракцій, а також передбачити стадії подальшого очищення та стабілізації олії відповідно до вимог виробництва [58].

Очищення готової олії – ключовий технологічний блок: декантаційні центрифуги, фільтри (пісочні, картриджні), сорбційні ступені (активоване вугілля, силікагель для освітлення), а також системи дегазації та нейтралізації у випадку необхідності видалення вільних жирних кислот. Центрифуги дозволяють досягти високого ступеня зняття механічних домішок і води (до параметрів, необхідних для тривалого зберігання), а фільтрація – поліпшити прозорість та стабільність кольору.

До блоку допоміжного обладнання відносять вакуумні випарники та теплообмінники, особливо під час виробництва очищених або рафінованих олій, насоси та трубопроводи харчового класу, системи контролю температури й вологості, а також лабораторне обладнання для контролю якості (спектрофотометри, газові хроматографи для визначення профілю жирних кислот, прилади для визначення пероксидного та кислотного числа).

Сучасні інтенсифікуючі модулі, такі як ультразвукові ванни, реактори, мікрохвильові екстрактори, ензимні реактори, інтегрують у лінії як передекстракційні або попередні операції: ультразвук і мікрохвилі підвищують масообмін і зменшують час обробки, а ензимна підготовка руйнує клітинні стінки для кращого доступу до ліпідів та полярних біоактивів. Наукові українські та міжнародні роботи демонструють, що за умови правильного інженерного проектування ці модулі підвищують вихід та якість екстрактів, проте додають складності в оптимізації технологічного процесу й збільшують операційні витрати, наприклад, енергія, ферменти. Для підприємств, що орієнтовані на отримання функціональних олій з підвищеним вмістом силімарину, інвестиції в такі блоки можуть виправдатися за рахунок додаткової вартості готового продукту [6].

У процесі вибору конкретних моделей обладнання в Україні важливими факторами є: продуктивність (т/добу), можливість роботи у холодному режимі (<40–60 °C для збереження біоактивів), енергоспоживання, простота технічного обслуговування, наявність сервісної підтримки та запасних частин, а також відповідність харчовим стандартам (харчовий клас матеріалів, сертифікації). Ринкові пропозиції українських постачальників охоплюють як малопотужні преси для фермерських ліній, так і промислові рішення – це дозволяє підбирати обладнання відповідно до бізнес-моделі: від локального виробництва «холодного віджиму» до промислових цехів з виробництва олії із комбінованими екстракційними блоками.

Економічно-екологічний аналіз устаткування: найнижчі капітальні витрати у невеликих шнекових пресів та декантаційних систем, середній сегмент – у розчинникових каруселей через необхідність систем рекуперації, найвищий капітальні витрати – у SFE.

Операційні витрати залежать від енергоспоживання (центрифуги й апарати під тиском), витрат на розчинники, ензими та витрат на сервіс. Для ринку України доцільна модель поетапної модернізації: запуск із шнекового пресу та базової центрифугації, з подальшим додаванням модулів SFE або

інтенсифікації у разі виходу на експортні фармацевтичні ніші. Галузеві матеріали вказують на успішні практики адаптації таких поетапних схем [59].

Висновки до розділу

У першому розділі проведено комплексний огляд біологічних, хімічних, фармакологічних та технологічних особливостей розторопші плямистої (*Silybum marianum*) як сировини для одержання олії та пов'язаних біоактивних продуктів.

Аналіз літератури та виробничих джерел дозволив сформулювати такі узагальнення:

1. Розторопша плямиста є високоперспективною культурою завдяки здатності до адаптації, невибагливості у вирощуванні та значному вмісту біоактивних речовин. В Україні її культивування стабільно розширюється, що формує доступну сировинну базу для переробних підприємств.

2. Насіння *S. marianum* містить широкий спектр цінних компонентів, серед яких провідними є флавонолігнани комплексу силімарину, ненасичені жирні кислоти (лінолева, олеїнова), токофероли, фітостероли, вітаміни та мінеральні сполуки. Олійна фракція становить у середньому 25–30 %, що робить насіння ефективною сировиною для отримання харчових танутрицевтичних олій.

3. Хімічна структура силімарину та супутніх флавонолігнанів добре досліджена, починаючи з 1960-х років. Сучасні аналітичні методи дозволяють ідентифікувати понад два десятки структурних варіантів, що визначає фармакологічну універсальність розторопші.

4. Фармакологічні властивості рослини підтверджують її високу цінність, зокрема гепатопротекторну, антиоксидантну, протизапальну, кардіопротекторну та цитостатичну активність. Це розширює можливості використання продуктів переробки розторопші у медичних та функціональних харчових технологіях.

5. Колір олії є важливим індикатором її якості, що корелює з вмістом каротиноїдів, токоферолів та продуктів окиснення. Для кількісної оцінки

доцільно застосовувати моделі CIE Lab*, методи спектрофотометрії та шкалу Lovibond, що забезпечує об'єктивний контроль свіжості та стабільності олії.

6. Технології виробництва олії з насіння розторопші охоплюють механічне пресування, розчинникове вилучення та надкритичну екстракцію CO₂.

7. Механічне пресування є простим та екологічним, але залишає у макусі до 20 % олії. Екстракція розчинниками забезпечує найвищі виходи (до 95–99 %), проте має екологічні та регуляторні обмеження. Надкритична екстракція CO₂ поєднує високу селективність, екологічність та відсутність залишків розчинника, але потребує значних капіталовкладень.

8. Режими екстракції визначаються природою та властивостями розчинника, температурою, тиском та станом сировини. Полярні розчинники (зокрема хлористий метилен, етанол) демонструють високу ефективність розчинення ліпідів за помірних температур, що важливо для збереження термочутливих компонентів.

9. Стан сировини (вологість, структура, ступінь подрібнення) є критичним чинником, який суттєво впливає на масоперенесення, вихід олії та стабільність хімічного складу.

10. Сучасні інтенсифікуючі технології (ультразвукова, мікрохвильова, ензим-асистована екстракція) забезпечують підвищення виходу та збільшення концентрації біоактивних компонентів, але вимагають ретельної оптимізації параметрів і мають вищу собівартість.

11. Огляд обладнання показав, що найбільш поширеними є шнекові преси, гідравлічні преси, екстракційні установки, центрифуги, фільтри, вакуумні та тепломасообмінні апарати. Переваги й недоліки різних типів обладнання визначаються продуктивністю, енергоспоживанням, можливістю роботи в холодному режимі та рівнем автоматизації.

12. Для умов українських виробництв раціональним є поетапний підхід, що передбачає запуск базових ліній холодного пресування з подальшим додаванням екстракційних або надкритичних модулів залежно від потреб ринку.

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Сучасні напрями розвитку харчових технологій орієнтовані на отримання продуктів із високою споживчою якістю та підвищеним вмістом біологічно активних речовин. Такий підхід зумовлений зростаючим запитом на харчові вироби профілактичного призначення, що повинні забезпечувати не лише енергетичну, але й фізіологічну підтримку організму. Значна увага приділяється сировині рослинного походження, яка може виступати джерелом есенціальних нутрієнтів, природних антиоксидантів та функціональних компонентів. Саме до цієї категорії належать продукти переробки насіння розторопші плямистої.

Насіння розторопші містить комплекс речовин, цінних для харчової, та фармацевтичної промисловостей: поліненасичені жирні кислоти, харчові волокна, вітаміни, макро- та мікроелементи. Окрему групу становлять флаволігнани силімаринової фракції, яким властива антиоксидантна та гепатопротекторна дія. Однак ефективність вилучення ліпідів і збереження біологічно активних сполук суттєво залежить від параметрів технологічного процесу, насамперед від температурних режимів.

Аналіз наукових джерел свідчить, що температура є одним із ключових факторів, що визначають вихід олії, ступінь руйнування термолабільних компонентів, окиснюваність отриманого продукту та інтенсивність супроводжувальних реакцій. Надмірне нагрівання може прискорювати руйнування поліфенольних сполук і знижувати антиоксидантну активність олії, тоді як недостатні температури погіршують масообмін і зменшують ефективність екстрагування. Водночас у наявних працях простежуються розбіжності щодо оптимальних температурних меж для холодного пресування, попереднього прогрівання насіння, кондиціонування та екстрагування, що свідчить про неповну розробленість цієї проблеми.

Критичний аналіз наукових публікацій також виявляє, що більшість робіт зосереджені або на хімічному складі олії розторопші, або на порівнянні

різних методів екстракції (механічне пресування, органічні розчинники, CO₂-екстракція, комбіновані методи). Натомість питання температурної оптимізації як цілісного технологічного фактора розглядається фрагментарно, без системної оцінки впливу різних температурних режимів на фізико-хімічні, біохімічні та органолептичні характеристики кінцевого продукту. Це створює прогалину в науковому обґрунтуванні режимів, що забезпечують водночас високий вихід і збереження комплексу біологічно активних речовин.

Оптимізовані температурні режими дозволили б мінімізувати втрати термочутливих компонентів, зменшити інтенсивність окиснювальних процесів і забезпечити стабільність якості олії.

У межах тематики «Обґрунтування технології виробництва олії з насіння розторопші плямистої» визначено наступні завдання дослідження:

- проаналізувати фізико-хімічні характеристики насіння розторопші плямистої сорту Бойківчанка та оцінити його придатність до механічного пресування;
- встановити залежність фактичної температури олії на виході з преса від заданої температури процесу та оцінити її вплив на показники якості продукту;
- визначити вихід нефільтрованої та фільтрованої олії за температур 40–130 °C та встановити температурний режим, за яким досягається максимальна ефективність вилучення;
- оцінити технологічні втрати олії в різних температурних режимах та встановити температури, що сприяють їх мінімізації;
- дослідити зміни кислотного та пероксидного числа олії залежно від температури пресування та визначити температурні межі, що забезпечують мінімальне гідролітичне псування;
- дослідити вплив температури та фільтрації на колірні характеристики олії у системі CIE Lab*;
- оцінити зміни вологості та виходу макухи за різних температурних режимів як індикаторів ефективності процесу пресування;

– на основі сукупних даних визначити оптимальний температурний діапазон пресування та сформувані науково обґрунтовані рекомендації щодо його застосування у промислових умовах.

Перед початком експериментальних робіт оцінювали якість сировини, що досліджували, – насіння розторопші плямистої сорту Бойківчанка [60] відповідно до загальноприйнятих стандартних методик. Вміст вологи у насінні визначали методом висушування наважки матеріалу за температури 105 ± 2 °C до досягнення постійної маси [61]. Вміст олії оцінювали шляхом екстракції в апараті Сокслета [62] з використанням етанолу як розчинника. Масу 1000 насінин та їх чистоту визначали за методикою [63], а насипну масу – за допомогою літрової пурки. Підготовка сировини до досліджень полягала у очищенні насіння від сторонніх домішок із застосуванням набору лабораторних сит. Через морфологічні особливості насіння розторопші плямистої обрушування та подрібнення не проводили.

Експериментальні зразки олії видобували за допомогою лабораторного шнекового пресу Oil Extractor OP-600 M. Перед початком роботи прес повністю розбирали та очищали від залишків попередньої сировини, після чого збирали у робочий стан. Обладнання розігрівали до температури, необхідної для конкретного досліду (40–130 °C). Для відбору продуктів пресування встановлювали окремі ємності для олії та макухи, після чого засипали наважку насіння у приймальний патрубок пресу. Після завершення пресування фіксували масу нефільтрованої олії та макухи. Ефективність видобування олії розраховували як відношення виходу нефільтрованої олії до загального вмісту олії у насінні розторопші плямистої.

Отриману олію центрифугували на лабораторній центрифугі MICROmed CM-3 M протягом 15 хв при швидкості 3000 об/хв. Після центрифугування визначали масу фільтрованої олії та масову частку осаду. Кислотне [64] та пероксидне [65] числа фільтрованої олії визначали методом титрування. У якості фактора дослідження було обрано температуру процесу видобування олії у діапазоні 40–130 °C з кроком 10 °C. Частота обертання

шнека пресу залишалася незмінною та складала 65 об/хв. Кожний експеримент проводили тричі. Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) – метод, який використовується для порівняння середніх значень 11 груп даних, щоб визначити, чи є між ними статистично значущі відмінності. Він працює, аналізуючи дисперсію даних, розділяючи її на складові, які пояснюються різницею між групами та варіативністю всередині кожної групи. Цей метод допоміг зрозуміти вплив одного або кількох якісних факторів експерименту на кількісну змінну – температуру.

Основне обладнання та прилади для магістерського дослідження за заданою тематикою зведено до рис. 2.1.

Схему одержання зразків олії розторопші зведено до рис. 2.2.

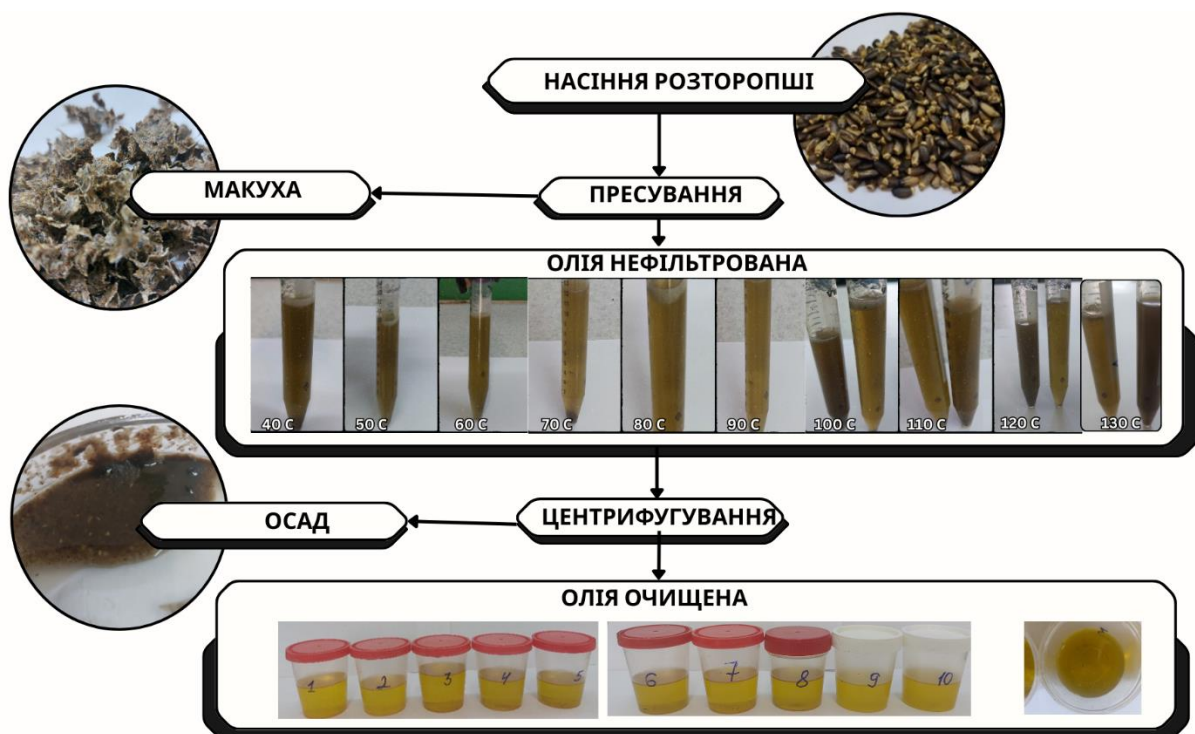


Рисунок 2.2 – Схема одержання дослідних зразків олії розторопші

У результаті спланованого експерименту отримано 10 дослідних зразків олії за температур від 40 до 130 °С з кроком у 10 °С пресування насіння розторопші.

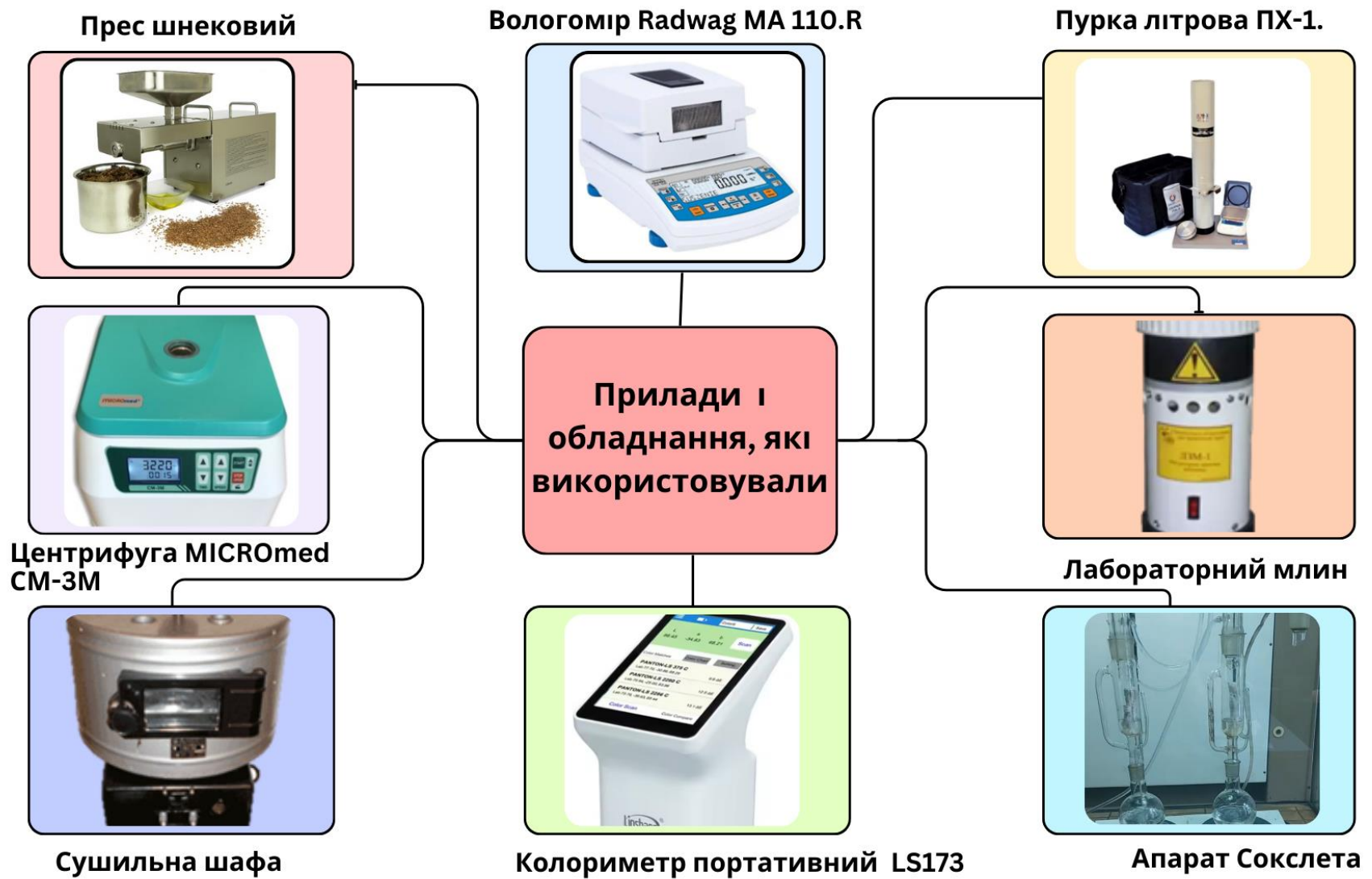


Рисунок 2.1 – Прилади і обладнання, які використовували в ході досліджень

Висновки до розділу

У другому розділі проведено дослідницько-аналітичне обґрунтування технологічних параметрів процесу одержання олії з насіння розторопші плямистої з акцентом на роль температурного фактору.

Температура є критично важливим параметром, що визначає ефективність вилучення ліпідів, швидкість масоперенесення, стабільність термолабільних біоактивних речовин і схильність олії до окиснення. Літературний аналіз показав відсутність єдиної узгодженої температурної оптимальної межі для пресування й екстрагування олії розторопші, що обґрунтовує актуальність дослідження.

Речовинний склад насіння зумовлює чутливість вихідної олії до нагрівання: поліненасичені жирні кислоти, флаволігнани силимаринової фракції та токофероли можуть руйнуватися за підвищених температур, тоді як занадто низькі температури уповільнюють процес екстрагування.

Встановлено ключові фактори, що впливають на результат процесу. До них належать: температура пресування, попередній стан сировини, рівень подрібнення, умови фільтрації та стабілізації.

Охарактеризовано сировину, що застосована у дослідженнях. Визначено та описано лабораторну схему одержання олії. У дослідженні застосовано шнековий прес ОР-600 М із фіксованою частотою обертання (65 об/хв) та контрольованим нагріванням до заданої температури. Фільтрацію виконували центрифугою MICROmed CM-3M. Комплекс застосованого обладнання забезпечив відтворюваність умов експерименту.

Розроблено температурний план експерименту. Дослідження проведено у діапазоні 40–130 °С із кроком 10 °С. Для кожного режиму отримували окремі зразки нефільтрованої та фільтрованої олії, що дозволяє виконати повний порівняльний аналіз.

Виконано оцінку основних показників якості одержаної олії. Для кожного зразка визначали кислотне та пероксидне числа, що є індикаторами

рівня гідролітичного та окисного псування. Це дало змогу оцінити вплив температури на стабільність та якість продукту.

Сформовано експериментальну базу для подальшої оптимізації технології. Отримані 10 дослідних зразків олії є підґрунтям для визначення оптимальної температури пресування, що забезпечує максимальний вихід, мінімальні втрати біологічно активних компонентів та прийнятний рівень окисної стабільності.

Розділ 2 послідовно обґрунтовує вибір експериментальної методики та параметрів дослідження і формує комплексний фактичний матеріал для подальшого аналізу впливу температури на технологічну ефективність та якість олії розторопші. Отримані дані забезпечують основу для визначення оптимальних температурних режимів пресування, що є ключовою метою дослідження та важливим елементом технологічного проектування.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Отримані результати аналізу насіння розторопші плямистої сорту Бойківчанка, яке використовували у дослідженні, наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика насіння розторопші плямистої сорту Бойківчанка

Показник	Значення
Вологість, %	6,83±0,23
Маса 1000 насінин, г	23,94±0,81
Насипна маса, кг/м ³	670,7±1,27
Чистота насіння, %	99,41±0,32
Масова частка олії, у перерахунку на суху речовину, %	25,16±1,08
Зараженість шкідниками зерна	відсутня

Показники, що характеризують ефективність видобування олії в діапазоні температур 40–130 °С зведено на рис. 3.1.

За результатами аналізу діаграми (рис. 3.1) температура олії на виході з преса прямо пропорційно зростає з температурою пресування (від 42,4 °С за температури 40 °С до 52,5 °С за температури 130 °С). Лінійний тренд залежності очікуваний – більше енергії в приводі преса, передача тепла з його валів дають вищу кінцеву температуру олії (нахил прямої +0,1118 %/°С, коефіцієнт кореляції $r = 0,9820$, частка дисперсії $r^2 = 0,9643$, $p < 0,001$). Це модифікує в'язкість олії (зниження за зростанням температури), що впливає на масоперенесення та екстракційні процеси, але зростання температури олії на виході з преса і як наслідок – зниження кінематичної в'язкості, є короткочасним і можливим покращенням екстракції до певного «оптимуму».

Максимум виходу нефільтрованої олії складає $\approx 23,04$ % за температури 60 °С, після спостерігається помірне зниження, мінімум $\approx 19,96$ % за значенням 120 °С. Лінійна регресія дає негативний нахил в усьому діапазоні ($-0,0252$

$\%/^{\circ}\text{C}$, $r = -0,7822$, $r^2 = 0,6118$, $p = 0,0075$). Початкове збільшення виходу олії до температури $\approx 60^{\circ}\text{C}$ можна пояснити зменшенням її в'язкості і полегшенням її відділення від твердого матриксу. Після $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$ подальше підвищення температури може стимулювати інші явища, такі як підвищення масової втрати за рахунок утворення парів (випаровування) вологи і пов'язане з цим нерівномірне пресування, зміна фізико-хімічних властивостей макухи (коагуляція білків, ущільнення пор), що перешкоджає внутрішній дифузії та посилює адсорбцію, вологоутримання в структурі і як наслідок, ефективність виходу падає. Тому оптимум $\approx 60^{\circ}\text{C}$ можна сприймати як експериментальну рекомендацію для максимального нефільтрованого виходу.

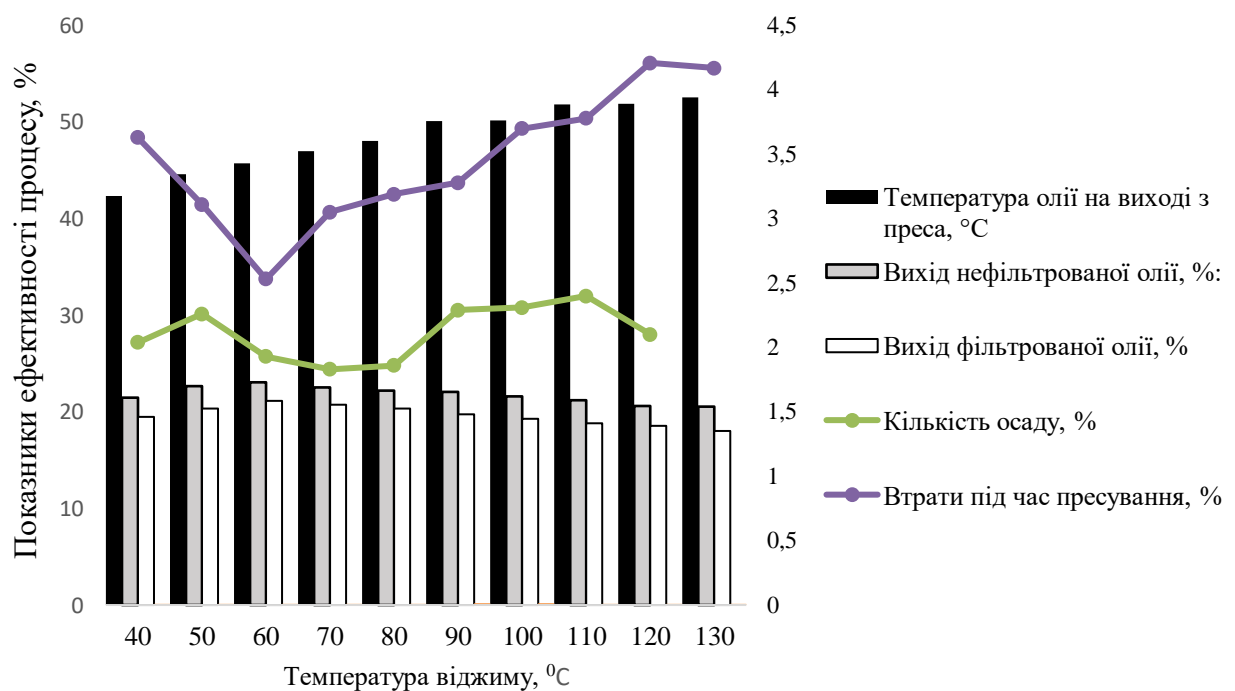


Рисунок.3.1 – Залежність показників ефективності процесу від температури пресування

Для фільтрованої олії максимальний вихід склав 21,11 % також за температури 60°C (рис. 3.1), тенденція схожа до нефільтрованої олії, але зі зсувом і більшою варіабельністю в межах $100\text{--}130^{\circ}\text{C}$. Лінійна регресія показує суттєву негативну залежність від температури пресування (нахил складає

$-0,0264 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$, коефіцієнт кореляції $r = -0,7474$, частка дисперсії $r^2 = 0,5586$, $p = 0,0130$. Зростання температури до $60 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ поліпшує вилучення розчинної фракції і дає максимум чистої олії. За температури $>80\text{--}100 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ спостерігається зниження фільтрованого виходу – можлива причина: перехід частини олії у фракції, що важко відфільтрувати, або посилене утворення емульсій та коагулятів, що утримують олію.

За аналізом значень втрат під час пресування мінімум складає $2,53 \text{ } \%$ за температури $60 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, максимум $5,18 \text{ } \%$ за температури $120 \text{ } ^{\circ}\text{C}$. Спостерігається сильна позитивна кореляція з температурою пресування: нахил $+0,0220 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$, $r = 0,7710$, $r^2 = 0,5945$, $p = 0,0090$. Зростання технологічних втрат за підвищених температур можливе за рахунок посилення окиснення або розкладання і втрати летких компонентів, підвищення прилипання до обладнання, через збільшення кількості емульсії, яку важко відокремити. Пік втрат за температури $120 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ сигналізує про порогову термічну трансформацію компонентів біоматеріалу.

Спостерігається дуже слабка мінливість виходу макухи від температури пресування ($\approx 74,3\text{--}75,0 \text{ } \%$), практично відсутня кореляція $r = 0,052$ ($p \approx 0,89$). Маса залишкової макухи практично не змінюється – зміни виходів олії і втрат частково компенсуються. Статистично незначні коливання можуть бути технологічними похибками під час відмірювання або невеликими змінами вологості. Кількість осаду варіює в межах $\sim 1,76\text{--}2,63 \text{ } \%$, відсутня лінійна залежність від температури процесу вилучення олії ($r \approx 0,05$).

Кількість осаду у фільтрованій олії залежить не лише від температури пресування, але й від режиму фільтрації, в даному випадку типу центрифуги, ступеня подрібнення насіння та вихідної вологості. Нерегулярні коливання (максимум за температури $80 \text{ } ^{\circ}\text{C}$) можуть відображати нестационарні ефекти формування коагулятів.

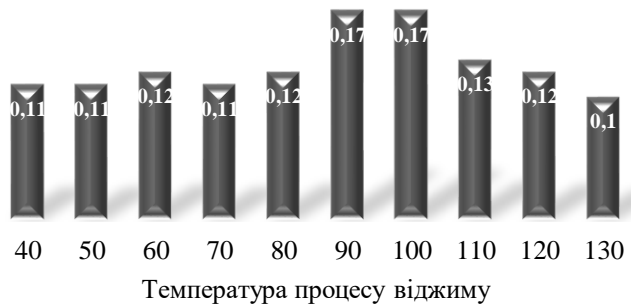


Рисунок 3.2 – Залежність вмісту вологи і летких речовин від температури пресування

Зміну вмісту вологи і летких речовин у олії від температури пресування представлено на рис. 3.2. Статистично лінійна регресія дає нахил $\approx +1.58 \cdot 10^{-4} \text{ \%}/^\circ\text{C}$, тобто дуже мале позитивне зростання вмісту зі збільшенням температури. Коефіцієнт кореляції Пірсона $r \approx +0,19$ ($r^2 \approx$

$0,038$), $p \approx 0,6$ – лінійна кореляція статистично незначна за рівнем значущості ($\alpha = 0,05$). Візуально видно нелінійний (піковий) характер: відносно низькі значення за температури 40–80 °C (0,11–0,12 %), різкий локальний підйом до 0,17 % за температури 90–100 °C, після чого значення знижуються (110–130 °C до 0,13–0,10 %). Пояснити можна наступним чином: з підвищенням температури зменшується в'язкість олії і підвищується мобільність фракцій, мікрокраплини води одночасно з леткими сполуками легше «захоплюються» і утримуються в олії під час вилучення. У діапазоні ~90–100 °C внутрішня пара і випаровування можуть утворювати стабільні емульсії або невеликі дисперсні краплинки води, що після вилучення потрапляють в олію. Із підвищенням температури можуть вивільнятися леткі ароматичні, суміжні сполуки (альдегіди, кетони, леткі феноли), їх максимальна десорбція може відбуватися за 90–100 °C. Температури вище 90 °C можуть сприяти місцевому термічному розпаду деяких компонентів матриці (білки, гліколіпіди), що веде до виділення низькомолекулярних летких продуктів. Локальний пік за температури 90–100 °C означає, що умови пресування у цьому інтервалі сприяють підвищенню вмісту небажаних летких фракцій у первинному продукті, а в серійному виробництві це вимагає додаткових операцій.

Причинами зниження показника за температури вищої за 100 °C можуть бути випаровування із системи вільної вологи з леткими, теплова деградація

самих летких сполук, наявність змін у структурі макухи, що уповільнюють механізми захоплення й утримання вологи та летких речовин у олійній фазі під час вилучення. Але для остаточних висновків необхідне роздільне кількісне визначення вологи й летких компонентів, як сполук, які мають різну природу і походження, що дозволило б встановити, що саме дає пік за температури 90–100 °С (вода чи леткі речовини).

Аналіз динаміки показників окиснювальної стабільності фільтрованої олії розторопші (рис. 3.3) показав, що у температурному інтервалі 40–60 °С значення кислотного числа залишається практично незмінним і становить близько 1,6 мг КОН/г.

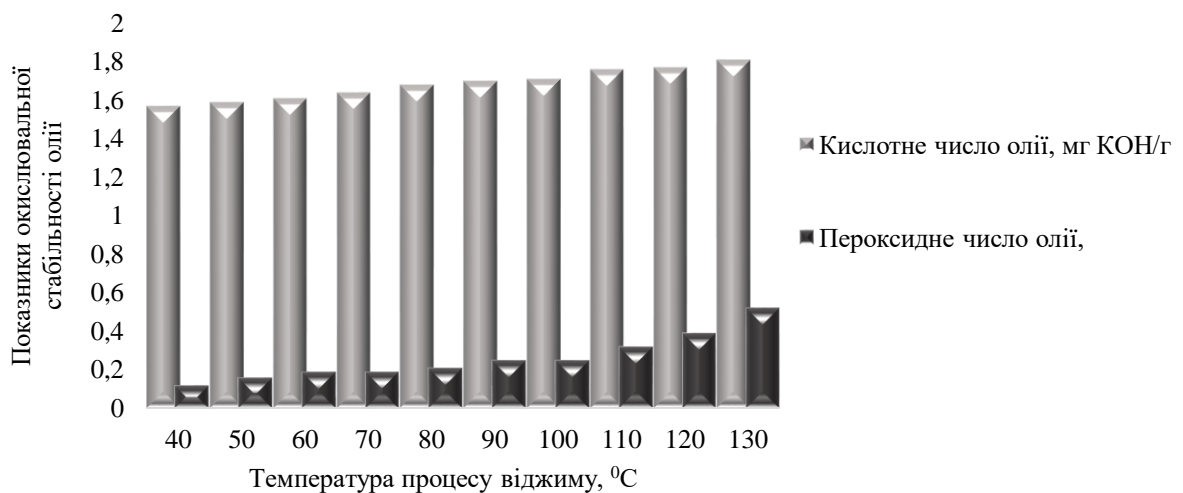


Рисунок 3.3 – Залежність кислотного та пероксидного чисел від температури пресування насіння розторопші

Подальше зростання температури до 70–100 °С відбувається невелике підвищення до 1,7 мг КОН/г. За температури 110–130 °С спостерігається подальше зростання до 1,8 мг КОН/г – маємо тренд показника – поступове зростання кислотного числа з підвищенням температури. Кислотне число характеризує концентрацію вільних жирних кислот (ВЖК), що утворюються внаслідок гідролітичного розщеплення тригліцеридів. Підвищення температури спричиняє часткове порушення клітинних структур, що полегшує вивільнення ферментів, які каталізують гідроліз, а також активує

процеси автогідролізу та термогідролізу. Це, у свою чергу, зумовлює зростання вмісту ВЖК, погіршення якості та зниження окисної стабільності олії.

Оцінку накопичення первинних продуктів окиснення (гідропероксидів) здійснювали за показником пероксидного числа. Отримані значення становили 0,12–0,52 ммоль O_2 /кг у температурному діапазоні 40–130 °С. Підвищення температури приводило до зростання пероксидного числа, що свідчить про посилення термоокиснювальних реакцій, швидкість перебігу яких перевищує швидкість розкладу пероксидів. Така динаміка вказує на початкові ознаки деградації олії. Характер зміни показника залежно від температури описується лінійним трендом. Зведену інформацію про прозорість/мутність – L, і спектральну природу пігментів – a, b*, представлено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристика кольорових показників олії розторопші

Показник	Нефільтрована олія									
	Температура пресування, °С									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
L	38,99	39,04	43,5	43,1	47,09	47,01	40,05	37,77	36,90	36,71
a	0,29	0,36	-0,53	-0,13	0,05	0,00	-0,01	0,72	0,71	0,67
b	11,21	10,95	10,40	10,44	6,34	7,02	10,72	9,63	10,69	12,30
Фільтрована олія										
L	49,94	49,23	47,43	48,55	47,96	48,20	48,97	50,07	50,29	51,15
a	-1,98	-2,03	-1,84	-1,76	-1,83	-1,80	-1,90	-2,03	-2,08	-1,97
b	13,23	16,27	16,69	12,56	13,87	14,21	15,75	16,78	15,63	24,00

Інтерпретація показників, надала змогу відрізнити ефект фільтрації (розсіяння) від реальних змін у хімічному складі (екстракція, окиснення, термоліз). Так, показник світлості L надає характеристику сприйняття прозорості (чистоти) олії; значення показника a* – червоне (позитивний знак) ↔ зелене (негативний знак) відображає присутність зелених хлорофілів або

тепло-індукованих червоних, або бурих продуктів; в – жовте (позитивний знак) ↔ синє (негативний знак) надає інформацію про присутність каротиноїдів (жовтий або оранжевий) і утворення жовтуватих продуктів окиснення.

Для подальшого аналізу значень середнього відхилення (СВ), як статистичного показника, який описує рівень «розкиду» даних навколо середнього значення, користувались умовами за якими: мале СВ ($\approx 0,5 - 1,0$) – дані стабільні, зміни мало виражені; середнє СВ ($\approx 2-4$) – помірна мінливість, є відчутні відмінності залежно від умов і велике СВ (>5) – значні коливання, показник сильно змінюється залежно від факторів (наприклад, температури).

За усередненими результатами (табл. 3.2) по всіх температурах для нефільтрованої олії маємо: $L = 41,02$, значення стандартного відхилення $\pm 3,72$ одиниці свідчить, що реальна світлість у нефільтрованій олії змінюється досить помітно в процесі підвищення температури. Середній показник a^* складає $+0,21$, зі стандартним відхиленням $\approx 0,39$, що свідчить про незначне червонувате зміщення, b^* середнє складає $9,97$ зі стандартним відхиленням $1,77$, вказує про помірну мінливість та наявність відчутних відмінностей між показниками залежно від температури процесу.

Для фільтрованої олії, також за усередненими значеннями, маємо: $L = 49,18$ стандартне відхилення $\approx 1,12$, що набагато менше порівняно з нефільтрованою і означає стабільність кольору незалежно від температури пресування; $a^* = -1,92$ (СВ $\approx 0,11$) – стабільне зеленувате зміщення; $b^* = 15,90$ (СВ $\approx 3,04$).

За зміною $L \downarrow$, $a \uparrow$, $b \uparrow$ для нефільтрованої олії в процесі переходу від 80°C ($L = 47,1$; $a = +0,16$; $b = 8,9$) до 110°C ($L = 36,8$; $a = +0,54$; $b = 10,0$) видно різке зниження світлості, зростання червоного відтінку (a^* позитивне й підвищується) та також посилення жовтизни ($b \uparrow$), що може чітко відповідати термічному окисненню: формуються темні кон'юговані системи і відбувається руйнування природних каротиноїдів із заміщенням їх окисдованими продуктами.

Для фільтрованої олії спостерігається закономірність на всіх температурах порівняно з нефільтрованою за сценарієм: $L \uparrow$, $a \downarrow$ (більш негативне), $b \uparrow$. L завжди вища ($\approx 49-51$ проти $36-47$), a^* різко негативне ($-1,9$ проти ≈ 0), b^* вище ($\approx 15-19$ проти $9-10$), що свідчить про класичний ефект фільтрації з видаленням зважених часток і як наслідок – підвищується прозорість ($L \uparrow$), проявляється зелений відтінок хлорофілів ($a \downarrow$), а також стає більш помітною інтенсивна жовтизна каротиноїдів ($b \uparrow$).

За сценарієм: $L \approx \text{const}$, $a \downarrow$, $b \uparrow$ за помірних температур ($60-90$ °C) у нефільтрованій олії L коливається в межах $41-47$ (без різких змін), a^* майже нульове або злегка негативне, b^* зростає від $9,8$ до $10,2$. Це може вказувати на підвищення екстракції пігментів без суттєвої деградації матриці. У цьому режимі олія зберігає відносну стабільність кольору, а жовтизна посилюється завдяки виходу каротиноїдів.

За показниками, коли в наявності різко знижений L (зменшується до $36-38$), $a^* \approx 0$ або позитивне ($+0,4 \dots +0,5$) у нефільтрованій олії за температур $110-120$ °C b^* тримається $\approx 9,5-10,0$ – ситуація сигналізує про сильну термічну деградацію: каротиноїди частково руйнуються, з'являються коричневі полімери й вторинні продукти окиснення.

Саме тут найбільш імовірно затемнення олії, зниження прозорості та погіршення органолептики. Для фільтрованої олії розторопші переважає сценарій по всьому температурному діапазону ($L \uparrow$, $a \downarrow$, $b \uparrow$), тобто фільтрація підкреслює присутність хлорофілів (зеленуватість) і каротиноїдів (жовтизна), і робить загальний колір яскравішим та насиченішим.

На рівні 90 °C та 130 °C фіксуються локальні максимуми насиченості, що інтерпретується як максимум екстракції певних жовтих, оранжевих хромофорів; за температури 90 °C це, ймовірно, «безпечний» оптимум екстракції, 130 °C – потенційно супроводжується термічними перетвореннями.

Жодні точки в усіх вимірах чітко не відповідають класичному сценарію ($L \downarrow$, $a \uparrow$, $b \uparrow$) у фільтрованих пробах – тобто у видимому спектрі фільтрованої

олії немає ознаки масового термічного окиснення, що дає позитивний сигнал для якісної стабільності кольору після фільтрації. Проте це не виключає наявності хімічних ознак окиснення та потребує додаткових аналізів.

Для фільтрованої олії спостерігається помірна позитивна кореляція температури з L ($r \approx +0,52$) і з b ($r \approx +0,59$) – у процесі її підвищення під час пресування світлість і жовтизна, як правило, зростають.

Для нефільтрованої олії кореляція температури з L є негативною слабкою ($r \approx -0,34$), а* з b* – практично відсутня ($r \approx +0,056$). Це означає, що у нефільтрованому зразку температурний тренд кольору менш виражений/непередбачуваний, ймовірно через вплив зважених часток чи коагулятів.

Для подальшого аналізу кольору та прогнозування властивостей продукту використовували розширені похідні параметри [66]:

Хрома (C) – насиченість, велике значення C означає інтенсивний («чистий») колір; маленьке – близькість до сірого:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (3.1)$$

Кут відтінку (h), для рослинних олій традиційно кути $\sim 60-120^\circ$ (жовто-зелені відтінки), зсув в інший сектор вказує на зміну хімічного складу:

$$h = \text{atan2}(b, a) \cdot \frac{180}{\pi} \text{ (нормалізується до } 0 - 360^\circ) \quad (3.2)$$

Кольорову різницю ΔE_{ab} (між двома визначеннями), аналізували за умовами значення порогу сприйняття: $\Delta E \approx 0,5-1$ – дуже малопомітно (професійно); $\Delta E \approx 2-3$ – помітно для обізнаного спостерігача; $\Delta E \geq 5$ – помітно для звичайного споживача; $\Delta E \geq 10$ – суттєва різниця (візуально очевидна) [67]:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (3.3)$$

Середня колірна відмінність, обчислена за формулою (3.3), між фільтрованою й нефільтрованою оліями $\Delta E = 76$, середнє значення $\approx 11,02$ (по температурах) виявилась великою різницею у забарвленні. Середній $\Delta E \approx 11$ вказує, що фільтрація змінила колір настільки, що це було помітно неозброєним оком. На низьких температурах (40–50 °С) велике значення сприйняття кольору ΔE обумовлене збільшенням світлості після фільтрації (видалення зважених часток). На помірних температурах (60–90 °С) часто домінує поява або прояв каротиноїдів – тобто фільтрація робить жовтизну більш вираженою. На вищих температурах (>110 °С) ΔE зростає значно (≈ 15 –17) з одночасним сильним підвищенням прозорості, зростанням жовтої компоненти (або утворення сильноколірних хромофорів). Це може означати комбінований ефект: інтенсивна екстракція пігментів і/або поява теплових окиснювальних продуктів, що змінюють колір.

Візуалізацію результатів розрахунків за формулами (3.1) та (3.2) представлено на рис. 3.4, де на рівні 90 °С фіксуються локальний максимум насиченості, що інтерпретується як максимум екстракції певних жовтих та оранжевих хромофорів. Температура 90 °С є, ймовірно, «безпечним» оптимумом екстракції.

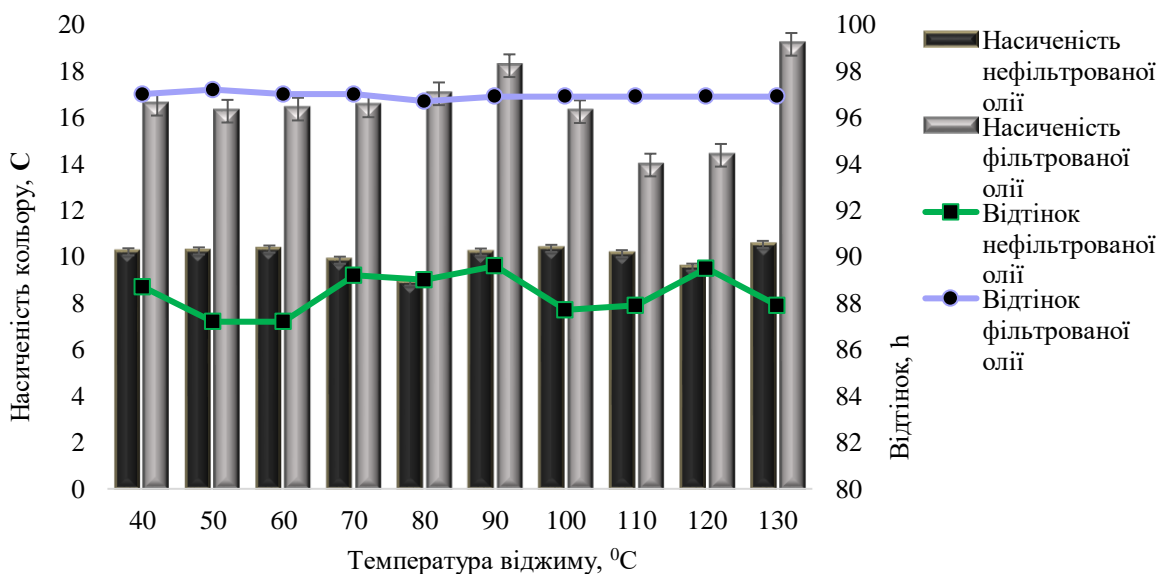


Рисунок 3.4 – Залежність насиченості кольору та відтінків фільтрованої і нефільтрованої олії від температури пресування насіння розторопші

За температури 110–120 °С відзначається падіння насиченості – це може бути проміжною зоною, де каротиноїди можуть руйнуватися або утворюються нелінійні взаємодії, що зменшують їх візуальну інтенсивність.

За температури 130 °С спостерігається новий максимум насиченості $C \approx 19,15$, що є нетиповим, це може вказувати на декілька можливих явищ: за дуже високої температури відбувається вивільнення (екстракція) іншого класу пігментів або хромофорів, які дають сильнішу жовту насиченість або зміну хімічного фону (втрачено «маскуючі» фракції), що робить видимими певні пігменти. Тим самим, зовнішньо інтенсивний колір може поєднуватися з погіршенням хімічної якості.

Для нефільтрованої олії відтінок (h) складає $\approx 87\text{--}89^\circ$, тобто колір тяжіє до «чисто жовто-зеленого». Значення майже не змінюються з температурою, що вказує на стабільність спектрального балансу. Показник h фільтрованої олії в межах $\approx 96\text{--}97^\circ$ стабільно зсувається в «тепліший жовтий» сектор. Це може означати, що фільтрація підкреслює саме жовтий колір (каротиноїди), тоді як у нефільтрованій зелені відтінки від хлорофілів частково маскують жовтизну.

Фільтрація збільшує і насиченість (C) і зсуває тон у бік чистішого жовтого (h вище на $\approx 8\text{--}9^\circ$). Це пов'язано з тим, що видалення механічних домішок та колоїдів підвищує прозорість, і тому колір формується в основному за рахунок розчинних пігментів (каротиноїдів).

На наступному етапі досліджували безпосередньо властивості макухи, отриманої у ході процесу пресування насіння розторопші плямистої сорту Бойківчанка в інтервалі температур 40–130 °С, зокрема визначали вихід макухи, масову частку вологи та залишковий вміст олії (методом екстракції етанолом). Результати досліджень зведено на рис. 3.5. Як видно, вологість макухи систематично зменшується зі зростанням температури пресування (сильна негативна кореляція $r = -0,926$). Це очікуваний фізико-хімічний ефект (за нашим припущенням – підвищена температура знижує в'язкість та прискорює видалення вологи з макухи).

Вміст олії (рис.3.5), виділеної з макухи методом екстракції етанолом, демонструє нелінійну залежність від температури: на початку, з підвищенням температури, вміст залишкової олії зменшується (краща екстракція), але після 90 °С ситуація змінюється і спостерігається його зростання.

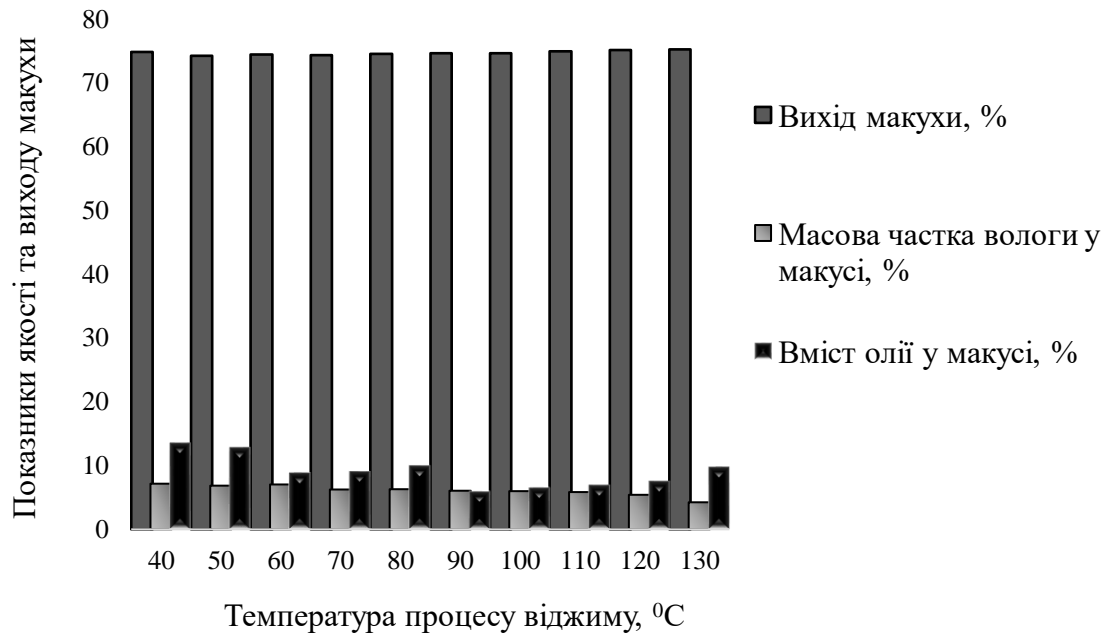


Рисунок 3.5 – Залежність показників якості та виходу макухи від температури пресування насіння розторопші

Це свідчить про компроміс між зниженням в'язкості (краще вилучення) і фізико-хімічними змінами, що ускладнюють екстракцію за високих температур (коагуляція білків, емульгування, зміна внутрішньої структури макухи). Така тенденція зміни вмісту олії в макусі вимагає подальших дослідів для підтвердження. У цей же час, вихід макухи практично не змінюється в межах 40–130 °С і температурний вплив на цей показник мінімальний.

Висновки до розділу

Проведений аналіз насіння розторопші сорту Бойківчанка засвідчив його високі технологічні властивості: низьку вологість (6,83 %), високу чистоту (99,41 %), відсутність зараженості, стабільну масову частку олії

(25,16 %). Такі параметри забезпечують коректність експериментального дослідження та достовірність отриманих результатів.

Температура пресування є визначальним фактором ефективності вилучення олії. Встановлено зростання температури олії на виході з преса з 42,4 °С (режим 40 °С) до 52,5 °С (режим 130 °С), що пов'язано зі зміною реологічних властивостей, зокрема зі зниженням в'язкості.

Максимальний вихід олії отримано за температури 60 °С. Для нефільтрованої олії вихід становив 23,04 %, для фільтрованої – 21,11 %. Подальше підвищення температури спричинило зниження виходу до 19,96 % та нижче за режиму 120 °С, що свідчить про погіршення масоперенесення та зростання технологічних втрат.

Мінімальні технологічні втрати також зафіксовані за температури 60 °С. Вони становили 2,53 %, тоді як за температури 120 °С зростали до 5,18 %, що вказує на підвищення термічної нестабільності компонентів та часткову деградацію олії.

Хімічні показники якості демонструють негативний вплив високих температур. Кислотне число зростало з 1,6 мг КОН/г (40–60 °С) до 1,8 мг КОН/г (130 °С), що відображає інтенсивніше утворення вільних жирних кислот. Пероксидне число зростало 0,12–0,52 ммоль O₂/кг за температури 40–130 °С, що підтверджує активізацію термоокисних процесів.

Температура та фільтрація впливають на колірні характеристики олії. Нефільтрована олія темнішала в температурному діапазоні 110–120 °С (зниження світлості до 36–38), що свідчить про термічну деградацію пігментів, тоді як фільтрована олія мала стабільніші показники ($L = 49,18$; $a^* = -1,92$; $b^* = 15,90$).

Динаміка зміни параметрів макухи свідчить про вплив температури на вологовміст. Вологість зменшувалася з 7,16 до 4,24 % у діапазоні 40–130 °С, тоді як вихід макухи залишався стабільним (74,3–75,0 %), що підтверджує прогнозованість процесу пресування в різних температурних режимах.

Оптимальним температурним діапазоном пресування є 60–90 °С. Саме ці режими забезпечують максимальний вихід, збереження хімічної стабільності, мінімальні втрати та належні органолептичні властивості олії. Отримані дані дозволяють комплексно оцінити вплив технологічних параметрів на якість олії розторопші. Результати мають практичне значення для розроблення оптимізованих режимів промислового пресування та можуть використовуватись при створенні технологічних інструкцій та промислових регламентів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці в навчальній лабораторії кафедри харчових технологій

Дослідження проводили в лабораторії кафедри харчових технологій Дніпровського державного аграрно-економічного університету, обладнаній технічними засобами для виконання операцій механічного пресування насіння олійних культур, центрифугування, сушіння, помелу та проведення хімічного аналізу показників якості олії. Організація робочого процесу та вимоги безпеки визначаються чинними нормами охорони праці [68], правилами експлуатації лабораторного обладнання та внутрішніми інструкціями університету.

4.1.1 Загальні положення та нормативна база

Організація безпечних умов праці під час проведення досліджень у лабораторії кафедри харчових технологій Дніпровського державного аграрно-економічного університету ґрунтується на чинному законодавстві України. Вимоги охорони праці регламентуються: Законом України «Про охорону праці»⁶⁹; НПАОП 0.00-1.71-13 Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [70]; Наказ «Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях» [71]; ДСТУ EN 61010 (вимоги безпеки до лабораторного електричного обладнання) [72]; внутрішніми інструкціями з охорони праці університету [73, 74].

Метою цього розділу є аналіз умов праці, характеристика небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а також розгляд заходів забезпечення безпеки під час виконання лабораторних робіт, зокрема:

- пресування олії на електричному пресі;
- центрифугування зразків;

- сушіння матеріалів у сушильній шафі;
- проведення хімічного аналізу (визначення кислотного та пероксидного чисел);
- помел насіння та макухи на електричному млині.

4.2 Характеристика виробничого середовища та потенційних небезпечних факторів

У навчальній лабораторії діють різні групи небезпечних та шкідливих факторів. Серед яких виявлено:

- фізичні (електричний струм – електроприводи преса, млина, центрифуги, сушильної шафи); підвищена температура поверхонь – сушильна шафа, нагрів преса, гаряча олія);
- механічні (рухомі частини млина й преса, високошвидкісний ротор центрифуги); шум та вібрація (під час помелу та центрифугування); можливість розлітання частинок при помелі;
- хімічні (під час аналізу кислотного та пероксидного чисел використовують хлороформ, етанол, спирт ізопропиловий, оцтову кислоту, калій гідроксид, натрій хлористий, калій йодистий, розчини пероксидів. Ці речовини можуть спричинити хімічні опіки, подразнення слизових, токсичний вплив у разі вдихання парів. Тому роботи виконують у витяжній шафі та із застосуванням індивідуальних засобів захисту;
- пожежонебезпечні (легкозаймісті реагенти, нагріті поверхні сушильної шафи, забруднення електрообладнання рослинною олією, можливе коротке замикання під час порушення правил експлуатації);
- організаційні (неправильне розміщення обладнання, перехрещення кабелів у зоні проходу, недостатня фіксація приладів на столах, недотримання правил поводження з реактивами).

Для запобігання впливу цих факторів у лабораторії впроваджено комплекс заходів, описаних нижче.

4.3 Вимоги безпеки під час роботи з пресом для видобування олії

Прес для видобування олії – електромеханічний пристрій, в роботі якого поєднуються підвищений тиск, нагрівання та наявність рухомих частин.

4.3.1 Підготовка до роботи

Перевіряють справність електрокабелю, вилки, вимикача та заземлення; оглядають температурні датчики та наявність огорожень; перевіряють чистоту робочої камери та відсутність сторонніх предметів.

4.3.2 Основні вимоги безпеки

Завантаження насіння здійснюють тільки при повністю зупиненому шнеку. Заборонено втручатися в роботу механізму без відключення живлення. Під час роботи прес нагрівається; оператор користується термостійкими рукавицями. Вихідна олія може мати температуру до 50–70 °С, тому уникати бризок. Очищення преса проводять після повного охолодження.

4.3.3 Небезпечні ситуації та дії

У разі наявності сторонніх шумів, запаху гару, вібрацій – негайно вимкнути обладнання. У разі розливання олії на підлогу ділянку негайно посипають адсорбентом (тирса, пісок).

4.4 Безпека під час центрифугування зразків

Центрифуга – джерело підвищеної небезпеки через швидкі оберти ротора.

4.4.1 Підготовка

Пробірки мають бути однакового типу, без пошкоджень і тріщин. Центрифуга повинна бути збалансована (масова різниця не більше 0,1–0,2 г). Ротор та внутрішня камера очищені й сухі.

4.4.2 Під час роботи

Заборонено відкривати центрифугу до повної зупинки ротора. При появі вібрацій або шуму прилад негайно вимикають. Не допускається перевантаження ротора. Робоча зона повинна бути вільною від сторонніх предметів.

4.5 Вимоги безпеки під час сушіння в сушильній шафі

Сушильна шафа під час роботи нагрівається до 105–150 °С, тому потребує особливої уваги.

4.5.1 Правила експлуатації

Забороняється використовувати шафу для нагрівання органічних розчинників або легкозаймистих речовин. Внутрішні полиці заповнюють рівномірно, без торкання стінок. Забороняється торкатися внутрішньої камери руками без термозахисту. Перед вилученням зразків шафу вимикають і дають коротке охолодження.

4.5.2. Додаткові вимоги

Перевіряти справність терморегулятора. Не перекривати вентиляційні отвори. Після завершення роботи – протерти поверхні від залишків пилу чи сировини.

4.6 Охорона праці під час проведення хімічного аналізу

Визначення кислотного та пероксидного чисел проводять із застосуванням хімічних реактивів, частина з яких токсична або корозійна.

4.6.1 Засоби індивідуального захисту

У якості засобів індивідуального захисту використовують захисний лабораторний халат; герметичні окуляри; нітрилові рукавички; за необхідності – респіраторний захист (під час роботи з парами хлороформу).

4.6.2. Вимоги до проведення аналізів

Роботу з леткими реагентами виконують у витяжній шафі. Усі реактиви маркують та зберігають у закритих шафах. Заборонено відбирати реактиви ротом через піпетки. Посуд, забруднений реагентами, промивають відповідно до внутрішніх інструкцій.

4.6.3 Перша допомога при контакті з хімікатами

Під час потрапляння на шкіру – промити великою кількістю проточної води. Під час вдихання парів – вийти на свіже повітря, за необхідністю звернутися до медпункту. Якщо реактив раптом потрапив в очі – промити око протягом 10–15 хв.

4.7 Вимоги безпеки під час роботи з електричним млином

Млин для помелу насіння – це високошвидкісний подрібнювальний механізм із ножами. Основними вимогами є необхідність огляду млина перед роботою, перевіряють цілісність кришки та замків; заборонено завантажувати вологе насіння; відкривати корпус млина – тільки після повної зупинки ножів; очищення проводять після відключення від мережі.

4.7.1 Особливості безпеки

Під час помелу утворюється пил, тому млин працює з герметичним контейнером; заборонено торкатись корпусу якщо виникла вібрація.

4.8 Пожежна безпека

4.8.1 Вимоги до приміщення

На кожному поверсі університету встановлено вогнегасники (порошкові ОП-5). Всі електроприлади мають інвентарний номер і проходять щорічну перевірку. На стінах розміщені плани евакуації.

4.8.2 Дії у разі пожежі

Необхідно негайно припинити роботу; вимкнути електроживлення; повідомити адміністрацію кафедри та службу «101»; за потреби – застосувати первинні засоби пожежогасіння.

4.9 Електробезпека

У лабораторії використовують прилади, що працюють від мережі 220 В. Основні вимоги: обладнання підключене через розетки із заземленням;

заборонено використання подовжувачів з пошкодженою ізоляцією; заборонено торкатися вимикачів та кабелів мокрими руками; при появі запаху горіння або іскріння – негайно знеструмити лабораторію через щиток.

4.10 Мікроклімат, освітлення та вентиляція

Відповідно до санітарних норм: температура приміщення повинна бути в межах 18–22 °С з відносною вологістю 40–60 %. Освітленість робочої поверхні: не менше 300 лк. Лабораторія обладнана припливно-витяжною вентиляцією, витяжна шафа – обов'язковий елемент роботи з хімічними реактивами.

4.11 Організація безпечного робочого місця

Робоче місце повинно бути звільнене від непотрібних предметів, реактиви розміщують на окремій хімічній полиці, обладнання встановлюють з урахуванням мінімальних відстаней для безпеки, проводи не повинні створювати перешкоди в проходах.

4.12 Дії в аварійних ситуаціях

У лабораторії передбачене реагування на такі ситуації: розлив олії – локалізувати адсорбентом, поверхню промити; розлив хімреактивів – ізолювати, нейтралізувати за інструкцією; травмування – зупинити роботу, надати першу допомогу, викликати медичного працівника; вихід обладнання з ладу – негайно відключити від мережі, повідомити відповідального.

4.13 Розробка картки безпеки праці

З огляду на специфіку дослідження, пов'язаного з олійною галуззю, було сформовано картку з техніки безпеки для операторів лінії з виробництва олії розторопші (рис. 4.1).







<p>1. Загальна інформація</p> <ol style="list-style-type: none"> Місце роботи – лінія з виробництва олії з насіння розторопші. Вид робіт – вилучення олії з насіння розторопші пресовим способом. Посада – оператор лінії. Тривалість робочого часу – 2 зміни (07:00–18:30; 19:00–06:30). Проходження медогляду – 1 раз на рік. Проходження повторного інструктажу з охорони праці – 1 раз на 6 місяців. Термін дії картки: до 01.12.2028 р. 	<p>2. Забезпечення одягом та засобами індивідуального захисту</p> <ol style="list-style-type: none"> Санітарний одяг (4 комплекти) – 1 раз на рік. Взуття шкіряне жаростійке – 1 раз на 6 місяців. Нарукавники бавовняні – 1 раз на 3 місяці. Рукавиці трикотажні, навушники протишумові, окуляри захисні – до зносу. 												
<p>3. Вимоги перед початком роботи</p> <ol style="list-style-type: none"> До роботи допускають осіб, які досягли 18-річного віку, пройшли медичне обстеження та не мають медичних протипоказань, вступний інструктаж, спеціальне навчання. Робітник повинен одягнути спецодяг, підготувати робочу зону. Перевірити роботу штучної вентиляції, справність та наявність захисних огорожень приводів робочих органів. Перед запуском обладнання перевірити, що нікому не загрожує небезпека від рухомих частин і механізмів. Перевірити роботу обладнання на холостому ході. Про виявленні порушення і недоліків доповісти безпосередньому керівнику і до їх усунення до роботи не приступати. 	<p>4. Вимоги під час роботи</p> <ol style="list-style-type: none"> Робітнику дозволяється виконувати тільки ту роботу, за якою пройдено навчання, інструктаж з охорони праці, до якої допущений особою, відповідальною за безпечне проведення осіб Необхідно утримувати своє робоче місце у належній чистоті, своєчасно прибирати з підлоги розсіпану сировину, розливу готову продукцію, тощо. Необхідно застосовувати засоби захисту рук під час роботи з гарячими поверхнями. Можна використовувати тільки справне устаткування, інструмент, пристосування. Не дозволяється доручати свою роботу іншим особам, які не пройшли відповідне навчання та інструктаж. 												
<p>5. Вимоги після закінчення роботи</p> <ol style="list-style-type: none"> Привести в порядок робоче місце, інструменти та пристосування приборати у відведене місце. Зняти і здати на збереження спецодяг і засоби індивідуального захисту. Виконати правила особистої гігієни. Про виявленні порушення і недоліки під час проведення робіт доповісти безпосередньому керівнику і змінному працівнику. 	<p>6. Вимоги в надзвичайних ситуаціях</p> <ol style="list-style-type: none"> Негайно припинити всі роботи. Вимкнути все обладнання; Доповісти керівнику про виникнення надзвичайної ситуації. 												
Контакти служб екстреної допомоги													
<p>Внутрішні службові номери: Майстер відділення: 000-00-00 Служба охорони праці: 000-00-00 – головний інженер, 000-00-00 – медичний кабінет.</p>	<p style="text-align: center;">СЛУЖБИ БЕЗПЕКИ</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>ПОЖЕЖНА ДОПОМОГА</td> <td>101</td> </tr> <tr> <td></td> <td>МІЛІЦІЯ</td> <td>102</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ШВИДКА ДОПОМОГА</td> <td>103</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ГАЗОВА СЛУЖБА</td> <td>104</td> </tr> </table>		ПОЖЕЖНА ДОПОМОГА	101		МІЛІЦІЯ	102		ШВИДКА ДОПОМОГА	103		ГАЗОВА СЛУЖБА	104
	ПОЖЕЖНА ДОПОМОГА	101											
	МІЛІЦІЯ	102											
	ШВИДКА ДОПОМОГА	103											
	ГАЗОВА СЛУЖБА	104											

Рисунок 4.1 – Картка безпеки праці для оператора лінії

4.14 Поводження з відходами від виробництва олії з насіння розторопші

Під час переробки насіння розторопші з вилученням олії виникає кілька основних видів побічних продуктів. Вони не є відходами у традиційному розумінні, оскільки мають значну біологічну цінність і можуть бути ефективно використані у різних галузях.

Макуха – твердий спресований продукт після вилучення олії пресуванням, містить 8–12 % залишкової олії, багата на білок (23–28 %), клітковину, флавонолігнани (силімарин), мікроелементи, має високу антиоксидантну активність. Макуху можна використовувати при виробництві борошна, яке можна додавати до хлібобулочних, кондитерських виробів, каш, мюслі, батончиків, спортивного харчування. Також із макухи можна виробляти дієтичні добавки як джерело силімарину, кормові добавки в тваринництві, харчові волокна.

Фільтраційні відходи (осад після центрифугування олії) містять механічні частинки насіння та залишкову олію. Його можна направити на повторне пресування або екстрагування для вилучення залишкової олії; використовувати як високожирну кормову добавку; вносити у біогазові установки (добра субстратна активність); використати при компостуванні.

Комплексна переробка – перетворення «відходів» у технологічні продукти з високою доданою вартістю.

Висновки до розділу

Запровадження системи заходів з охорони праці забезпечує безпечні умови виконання лабораторних досліджень. Дотримання вимог електробезпеки, пожежної безпеки, правил роботи з хімічними речовинами та лабораторним обладнанням мінімізує вплив небезпечних факторів.

Регламентовані процедури підвищують надійність отриманих результатів і забезпечують захист здобувача та персоналу лабораторії.

Відходи виробництва олії з насіння розторопші є цінними побічними продуктами з високим потенціалом використання у харчовій, фармацевтичній, кормовій та енергетичній сферах. Раціональна переробка дозволяє зменшити екологічне навантаження, підвищити економічну ефективність виробництва та сприяти екоорієнтованому розвитку підприємства.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Аналіз літературних джерел дозволив зробити висновок про актуальність і необхідність виробництва олії з насіння розторопші плямистої завдяки унікальності її властивостей. У ході експериментальних досліджень вирішували задачу встановлення оптимальних технологічних параметрів переробки насіння розторопші плямистої.

З метою обґрунтування технології виробництва і виконання завдань магістерської роботи проведенні дослідження представлено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт	Назва робіт	Тривалість робіт, дні
0-0	Одержання завдання	0
0-1	Вступ	3
1-2	Оглядовий розділ	7
2-3	Дослідницько-аналітичний розділ	7
3-4	Експериментальний розділ	16
4-5	Охорона праці та захист навколишнього середовища	5
4-6	Організаційно-економічний розділ	4
5-7	Загальні висновки і пропозиції	2
6-8	Бібліографія	2
8-9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	2
	Всього	48

Для виконання запланованих завдань магістерської роботи витратили 46 днів.

Для визначення фінансових витрат, які призначені для забезпечення досліджень складено відповідний кошторис [75].

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

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

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

C_i – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Кількість використаних матеріалів та їх вартість

№ з/п	Найменування матеріалів, одиниці	Ціна за одиницю, грн	Кількість	Сума, грн
1	Насіння розторопші плямистої, кг	180,00	4	720,00
2	Ємність для зразків олії, шт.	9,00	21	189,00
Всього				909,00

Розрахунок заробітної плати керівника магістерського наукового дослідження наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньогодинний заробіток, грн/год	Кільк. людино-годин	Сума, грн
Керівник кваліфікаційної роботи	13721,34	95,29	10	952,90
Всього				952,90

Нарахування на заробітну плату складають 24 % від фонду робочого часу. Відповідно, до визначеної суми заробітної плати вони становлять:

$$H = \frac{952,90 \cdot 24}{100} = 228,70 \text{ грн} \quad (5.2)$$

Витрати на спожиту електроенергію розраховували за формулою (5.3):

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

де M – потужність задіяного електрообладнання, кВт;

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

T – час роботи обладнання, год.;

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

$$a = 10,80 \text{ грн./}(кВт/год.).$$

Дослідження проводили з використанням наступного лабораторного електрообладнання:

- лабораторні ваги;
- млин лабораторний ЛЗМ-1;
- шафа сушильна СЕШ-3М;
- шнековий прес Oil Extractor OP-600М;
- ноутбук;
- колориметр портативний LS173;
- центрифуга MICROmed CM-3М;
- вологомір Radwag MA 110.R

Узагальненні результати розрахунків дійсних витрат на електроенергію наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунків витрат на електроенергію

Обладнання	Потужність обладнання, кВт	Час роботи обладнання, год	Витрати на електроенергію, грн
Лабораторні ваги	0,012	1,2	0,14
Млин лабораторний ЛЗМ-1	0,22	0,28	0,60
Шафа сушильна СЕШ-3МК	1,2	3,5	40,82
Шнековий прес Oil Extractor OP-600М	0,6	4,5	26,24
Ноутбук DELL	0,02	60	11,66
Центрифуга MICROmed CM-3М	1,1	5,0	53,46
Вологомір Radwag MA 110.R	0,3	0,8	2,33
Всього			135,25

Витрати на амортизацію обладнання знаходили за формулою (5.4):

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

де А – амортизаційні відрахування, грн;

Φ – вартість обладнання, грн;

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. 5.5.

Таблиця 5.5 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Лабораторні ваги	11670,00	10	0,04	0,13
Млин лабораторний ЛЗМ-1	4200,00	10	0,008	0,01
Шафа сушильна СЕШ-3МК	27000,00	15	0,13	1,44
Шнековий прес Oil Extractor OP-600M	14590,00	15	1,5	8,99
Ноутбук	17450,00	25	2,5	29,88
Колориметр портативний LS173	9990,00	10	0,35	0,96
Центрифуга MICROmed CM- 3М	4860,00	10	0,6	0,80
Всього				42,21

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

$$\frac{952,90 \cdot 80}{100} = 762,32 \text{ грн}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	909,00
Заробітна плата	952,90
Нарахування на заробітну плату	228,70
Електроенергія	135,25
Амортизація	42,21
Накладні витрати	762,32
Всього	3030,38

Загальна вартість дослідження визначали за формулою (5.5):

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

де Ц – вартість дослідження, грн;

С – витрати на дослідження, грн;

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

$$Ц = 3030,38 + \frac{30 \cdot 3030,38}{100} = 3939,49 \text{ грн}$$

Витрати на проведені дослідження магістерської кваліфікаційної роботи становили 3039,49 грн.

Висновки до розділу

Згідно з результатами розрахунків, найбільші витрати за період дослідження склали: 952,90 грн на оплату праці. Загальна вартість дослідження становить 3939,49 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Проведений аналіз насіння розторопші плямистої сорту Бойківчанка засвідчив його високі технологічні властивості: низьку вологість (6,83 %), високу чистоту (99,41 %), відсутність зараженості, стабільну масову частку олії (25,16 %). Такі параметри забезпечують коректність експериментального дослідження та достовірність отриманих результатів.

2. Температура пресування є визначальним фактором ефективності вилучення олії. Встановлено зростання температури олії на виході з преса з 42,4 °C (режим 40 °C) до 52,5 °C (режим 130 °C), що пов'язано зі зміною реологічних властивостей, зокрема зі зниженням в'язкості.

3. Максимальний вихід олії отримано за температури 60 °C. Для нефільтрованої олії вихід становив 23,04 %, для фільтрованої – 21,11 %. Подальше підвищення температури спричиняло зниження виходу до 19,96 % та нижче за режиму 120 °C, що свідчить про погіршення масоперенесення та зростання технологічних втрат.

4. Мінімальні технологічні втрати також зафіксовані за температури 60 °C. Вони становили 2,53 %, тоді як за температури 120 °C зростали до 5,18 %, що вказує на підвищення термічної нестабільності компонентів та часткову деградацію олії.

5. Хімічні показники якості демонструють негативний вплив високих температур. Кислотне число зросло з 1,6 мг КОН/г (40–60 °C) до 1,8 мг КОН/г (130 °C), що відображає інтенсивніше утворення вільних жирних кислот. Пероксидне число зросло 0,12–0,52 ммоль O₂/кг за температури 40–130 °C, що підтверджує активізацію термоокисних процесів.

6. Температура та фільтрація впливають на колірні характеристики олії. Нефільтрована олія темнішала в температурному діапазоні 110–120 °C (зниження світлості до 36–38), що свідчить про термічну деградацію пігментів, тоді як фільтрована олія мала стабільніші показники (L = 49,18; a* = –1,92; b* = 15,90).

7. Динаміка зміни параметрів макухи свідчить про вплив температури на вологовміст. Вологість зменшувалася з 7,16 до 4,24 % у діапазоні 40–130 °С, тоді як вихід макухи залишався стабільним (74,3–75,0 %), що підтверджує прогнозованість процесу пресування в різних температурних режимах.

8. Оптимальним температурним діапазоном пресування є 60–90 °С. Саме ці режими забезпечують максимальний вихід, збереження хімічної стабільності, мінімальні втрати та належні органолептичні властивості олії. Отримані дані дозволяють комплексно оцінити вплив технологічних параметрів на якість олії розторопші. Результати мають практичне значення для розроблення оптимізованих режимів промислового пресування та можуть використовуватись при створенні технологічних інструкцій та промислових регламентів.

На рахунок пропозицій щодо подальших досліджень за даною темою перспективним буде:

1. Розширити дослідження впливу температури на довготривалу стабільність олії. Доцільно проаналізувати зміни кислотного та пероксидного чисел у процесі зберігання у різних умовах.

2. Оптимізувати процес пресування з використанням математичного моделювання. Використання методів планування експерименту та регресійних моделей дозволить прогнозувати вихід і якість олії залежно від технологічних параметрів.

3. Розробити технологічні рекомендації для виробництв. На основі отриманих даних запропонувати регламентовані температурні режими для різних промислових типів пресів.

4. Оцінити можливість використання інтенсифікуючих технологій (ультразвук, мікрохвилі, ферментативна підготовка). Це дозволить підвищити вихід олії без суттєвого збільшення температурного навантаження.

5. Дослідити взаємозв'язок між температурою пресування та збереженням флавонолігнанів. Важливо оцінити силімаринову фракцію як маркер біологічної цінності олії.

6. Розглянути застосування отриманих результатів під час створення функціональних харчових продуктів. Олія розторопші з оптимізованими показниками може бути використана у харчовій промисловості, нутрицевтиці та дієтичному харчуванні.

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 Zhang X., Liu M., Wang Z., Wang P., Kong L., Wu J., Wu W., Ma L., Jiang S., Ren W., Du L., Ma W. and Liu X. A review of the botany, phytochemistry, pharmacology, synthetic biology and comprehensive utilization of *Silybum marianum*. *Front. Pharmacol.* 2024. 15:1417655. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1417655>.
- 2 MacDonald-Ramos K., Monroy A., Bobadilla-Bravo M., Cerbon M. Silymarin reduced insulin resistance in non-diabetic women with obesity. *International Journal of Molecular Sciences.* 2024. 25 (4). 2050. <https://doi.org/10.3390/ijms25042050>.
- 3 Marmouzi I., Bouyahya A., Ezzat S.M., El Jemli M. and Kharbach M. The food plant *Silybum marianum* (L.) Gaertn.: phytochemistry, Ethnopharmacology and clinical evidence. *J. Ethnopharmacol.* 2021. 265, 113303. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113303>.
- 4 Mukhtar S., Xiaoxiong Z., Qamer S., Saad M., Mubarik M.S., Mahmoud A.H. et al. Hepatoprotective activity of silymarin encapsulation against hepatic damage in albino rats. *Saudi J. Biol. Sci.* 2021. 28 (1), 717–723. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.10.063>.
- 5 Mohammadi S., Asbaghi O., Afrisham R., Farrokhi V., Jadidi Y., Mofidi F., Ashtary-Larky D. Impacts of Supplementation with Silymarin on Cardiovascular Risk Factors: A Systematic Review and Dose–Response Meta-Analysis. *Antioxidants.* 2024. 13, 390. <https://doi.org/10.3390/antiox13040390>.
- 6 Грищенко І. Дослідження фізико-хімічних параметрів селеновмісних олій. *Restaurant and hotel consulting. Innovations.* 2018. 1. <https://doi.org/10.31866/2616-7468.1.2018.151616>.
- 7 Комар А.В., Гамаюнова В.В. Розторопша плямиста – як джерело цінних лікарських препаратів. *Актуальні проблеми землеробської галузі та*

шляхи їх вирішення: праці Всеукраїнської науково-практичної конференції (09–11 грудня 2020 р., м. Миколаїв). Миколаїв: МНАУ, 2020. 116 с.

8 Global Biodiversity Information Facility. Free and open access to biodiversity data <https://www.gbif.org> (дата звернення: 14.09.2025).

9 Papadimou S.G. and Golia E.E. Green and sustainable practices for an energy plant cultivation on naturally contaminated versus spiked soils. The impact of ageing soil pollution in the circular economy framework. *Environ. Res.* 2024. 246, 118130. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118130>.

10 Носенко Ю. Розторопша плямиста – «подарунок Діви Марії». Агробізнес сьогодні. URL. <http://agro-business.com.ua/agro/ekspertnadumka/item/8201-roztoropsha-plainysta-podarunok-divy-marii.html> (дата звернення: 14.09.2025).

11 Hetz E., Liersch R., Schieder O. Genetic investigations on *Silybum marianum* and *S. eburneum* with respect to leaf colour, outcrossing ratio, and flavonolignan composition. *Planta Med.* 1995. 61. P. 54–57.

12 Sulas L., Porqueddu C., Bullitta P. Persistency of self-reseeding legumes under sheep grazing. In Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation, Lahti, Finland, 8–11 June 1992; P. 299–303.

13 Carrubba A., Catalano C. Essential oil crops for sustainable agriculture – a review. In *Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms*; Lichtfouse E., Ed.; Springer: Dijon, France, 2009; P. 137–187.

14 Soliman S.M., Sherif H.S., Bonfill M.M., El-Garhy H.A. Bioinformatics and differential expression analysis of chalcone synthase genes (CHS1, 2, 3) under gamma rays elicitation in *Silybum marianum* L. In Proceedings of the 4th International Conference on Biotechnology Applications in Agriculture (ICBAA), Benha University, Hurgada, Egypt, 28–30 March 2018, P. 1–11.

15 Torres M., Corchete P. Gene expression and flavonolignan production in fruits and cell cultures of *Silybum marianum*. *J. Plant Physiol.* 2016. 192. P. 111–117.

16 Carrier D.J., Crowe T., Sokhansanj S., Wahab J., Barl B. Milk thistle, *Silybum marianum* (L.) Gaertn., flower head development and associated marker compound profile. *J. Herbs Spices Med. Plants.* 2003. 10. P. 65–74.

17 Alemardan A., Karkanis A., Salehi R. Breeding objectives and selection criteria for milk thistle [*Silybum marianum* (L.) Gaertn. improvement. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, 2013. 41. P. 340–347

18 Greenheal <https://greenheal.com.ua/brands/biorastoropsha> (дата звернення: 10.11.2025).

19 Pferschy-Wenzig E.M., Kunert O., Thumann T., Moissl-Eichinger C. and Bauer R. Characterization of metabolites from milk thistle flavonolignans generated by human fecal microbiota. *Phytochemistry*, 2023. V. 215. 113834. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2023.113834>.

20 Biedermann D., Vavříková E., Cvak L. and Křen V. Chemistry of silybin. *Nat. Prod. Rep.*, 2014. 31 (9), 1138–1157. <https://doi.org/10.1039/c3np70122k>.

21 Javeed A., Ahmed M., Sajid A.R., Sikandar A., Aslam M., Hassan T.U. et al. Comparative assessment of phytoconstituents, antioxidant activity and chemical analysis of different parts of milk thistle *Silybum marianum* L. *Molecules*, 2022. 27 (9). 2641. <https://doi.org/10.3390/molecules27092641>.

22 Wagner H., Hörhammer L. and Seitz M. Chemical evaluation of a silymarin-containing flavonoid concentrate from *Silybum marianum* (L.) Gaertn. *Arzneimittelforschung*, 1968. 18 (6). P. 696–698.

23 Pelter A. and Hänsel R. The structure of silybin (silybum substance E6), the first flavonolignan. *Tetrahedron Lett.*, 1968. 9 (25), 2911–2916. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)89610-0](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)89610-0).

24 Wagner H., Seligmann O., Hörhammer L., Seitz M. and Sonnenbichler J. Zur struktur von silychristin, einem zweiten silymarin-isomeren aus silybum marianum. *Tetrahedron Lett.*, 1971.12 (22). P. 1895–1899. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)96737-1](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)96737-1).

25 Pelter A., Hansel R. and Kaloga M. The structure of silychristine. *Tetrahedron Lett.*, 1977. 18 (51), P. 4547–4548. [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(01\)83563-2](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(01)83563-2).

26 Arnone A., Merlini L. and Zanarotti, A. Constituents of Silybum marianum. Structure of isosilybin and stereochemistry of silybin. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 1979. (16), P. 696–697. <https://doi.org/10.1039/C39790000696>.

27 Kaloga M. Isosilychristin, ein neues Flayonolignan aus Silybum marianum L. Gaertn. Isosilychristin, a New Flavonolignan from Silybum marianum L. Gaertn. *Isosilychristin, a New Flavonolignan Silybum marianum L. Gaertn.* 1981. 36(2). P. 262–265. <https://doi.org/10.1515/znb-1981-0225>.

28 Begum S.A., Sahai M., and Ray A.B. Non-conventional lignans: coumarinolignans, flavonolignans, and stilbenolignans. Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe. *Prog. Chem. Org. Nat. Prod.*, 2010. 93. P. 1–70. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0140-7_1.

29 Chen Y. and Wang C. Basic research on comprehensive utilization of milk thistle II fruit oil and protein. *Acta Agric. Boreali-Occidentalis Sin.*, 1998. (01), P. 84–86.

30 Zarrouk A., Martine L., Grégoire S., Nury T., Meddeb W., Camus E. et al. Profile of fatty acids, tocopherols, phytosterols and polyphenols in mediterranean oils (argan oils, olive oils, milk thistle seed oils and nigella seed oil) and evaluation of their antioxidant and cytoprotective activities. *Curr. Pharm. Des.* 2019. 25 (15), P. 1791–1805. <https://doi.org/10.2174/1381612825666190705192902>.

31 S. Makouei J. Małajowicz J. Bryś Analysis of the physicochemical properties of milk thistle seed oil and evaluation of its bioactive potential.

Technological Progress in Food Processing. 2024. V. 1. №1.
<https://doi.org/10.22630/TPFP.2024.1.10071>.

32 Asnan M., Muzammal U., Ehsan M., Iftikhar K., Sarwar M.I., Laiba G., Manan Z., Shah H., Qammar B. and Tarteel H. Role of milk thistle (*Silybum marianum*) as a therapeutic feed additive in livestock, poultry, and humans. In: Abbas R.Z., Akhtar T., Asrar R., Khan A.M.A. and Saeed Z. (eds). *Complementary and Alternative Medicine: Feed Additives*. Unique Scientific Publishers, Faisalabad, Pakistan. 2024. C. 51–58. <https://doi.org/10.47278/book.CAM/2024.352>.

33 Csupor D., Csorba A. and Hohmann J. Recent advances in the analysis of flavonolignans of *Silybum marianum*. *J. Pharm. Biomed. Analysis* 2016130, 301–317. doi:10.1016/j.jpba.2016.05.034.

34 PubChem and the NCBI Entrez Interface National Institutes of Health (NIH). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата звернення: 19.11.2025).

35 Morishima C., Shuhart M.C., Wang C.C., Paschal D.M., Apodaca M.C., Liu Y. et al. Silymarin inhibits in vitro T-cell proliferation and cytokine production in hepatitis C virus infection. *Gastroenterology*. 2010. 138 (2). 671–681. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2009.09.021>.

36 de Avelar C.R., Nunes B.V.C., da Silva Sasaki B., Dos Santos Vasconcelos M., de Oliveira L.P.M., Lyra A.C., et al. Efficacy of silymarin in patients with nonalcoholic fatty liver disease – the Siliver trial: a study protocol for a randomized controlled clinical trial. *Trials*. 2023. 24 (1). 177. <https://doi.org/10.1186/s13063-023-07210-6>.

37 Li W., Qu X., Kang X., Zhang H., Zhang X., Hu H. et al. Silibinin eliminates mitochondrial ROS and restores autophagy through IL6ST/JAK2/STAT3 signaling pathway to protect cardiomyocytes from doxorubicin-induced injury. *Eur. J. Pharmacol*, 2022. 929. 175153. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2022.175153>.

38 Kurokawa H., Lenferink A. E., Simpson J.F., Pisacane P.I., Sliwkowski M.X., Forbes J.T. et al. Inhibition of HER2/neu (erbB-2) and mitogen-activated protein kinases enhances tamoxifen action against HER2-overexpressing, tamoxifenresistant breast cancer cells. *Cancer Res.*, 2000. 60 (20), 5887–5894.

39 Chinni S.R., Li Y., Upadhyay S., Koppolu P.K. and Sarkar F.H. Indole-3-carbinol (I3C) induced cell growth inhibition, G1 cell cycle arrest and apoptosis in prostate cancer cells. *Oncogene* 20. 2001. P. 2927–2936.
<https://doi.org/10.1038/sj.onc.1204365>.

40 Lau E.Y., Lo J., Cheng B.Y., Ma M.K., Lee J.M., Ng J.K. et al. Cancer-associated fibroblasts regulate tumor-initiating cell plasticity in hepatocellular carcinoma through c-met/FRA1/HEY1 signaling. *Cell Rep.* 2016. 15 (6). P. 1175–1189. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2016.04.019>.

41 Karimzadeh M.R., Masoudi Chelegahi A., Shahbazi S. and Reisi S. Cotreatment of silymarin and cisplatin inhibited cell proliferation, induced apoptosis in ovarian cancer. *Mol. Biol. Rep.*, 2024. 51 (1). 118.
<https://doi.org/10.1007/s11033-023-09026-8>

42 Ma X., Yu X., Li R., Cui J., Yu H., Ren L. et al. Berberine-silybin salt achieves improved anti-nonalcoholic fatty liver disease effect through regulating lipid metabolism. *J. Ethnopharmacol*, 2024. 319 (Pt 2). 117238.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117238>.

43 Bencze-Nagy J., Strifler P., Horváth B., Such N., Farkas V., Dublec K., et al. Effects of dietary milk thistle (*Silybum marianum*) supplementation in ducks fed mycotoxin-contaminated diets. *Vet. Sci.* 2023. 10 (2), 100.
<https://doi.org/10.3390/vetsci10020100>.

44 Get Your Colour Story Right – With the Right Scale
<https://www.lovibond.in/scales-in-edible-oil-colour-measurement> (дата
звернення: 22.11.2025).

45 Kiple K.F., Ornelas K.C. The Cambridge World History of Food. *British Journal of Nutrition*. 2001. 85. 763 p. <https://doi.org/10.1079/BJN2001354>.

46 Harish N., Anil Kumar K., Srinivas D. & Kumar S. Review on Oil Extraction Techniques. *International Journal of Agricultural Science and Research*. 2017. P. 567–576.

47 Tan Z.J., Yang Z.Z., Yi Y.J., Wang H.Y., Zhou W.L., Li F.F., Wang C.Y. Extraction of oil from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) using enzymeassisted three-phase partitioning. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2016. 179 (8), P. 1325–1335.

48 Ben Raha N., J. Barba F., Bart D., Chevalot I. Supercritical CO₂ extraction of oil, fatty acids and flavonolignans from milk thistle seeds: Evaluation of their antioxidant and cytotoxic activities in Caco-2 cells. *Food and Chemical Toxicology*. V. 83. 2015. P. 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.07.006>.

49 Çelik H. T., Gürü M. Extraction of oil and silybin compounds from milk thistle seeds using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids* V. 100. 2015. P. 105–109. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.02.025>.

50 Lukic I., Milovanovic S., Pantic M., Srbljak I., Djuric A., Tadic V., Tyśkiewicz K. Separation of high-value extracts from *Silybum marianum* seeds: Influence of extraction technique and storage on composition and bioactivity. *LWT*. 2022. V. 160. 113319. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113319>.

51 Zhang Zh.Sh., Wang Sh., Liu H., Li B.Zh., Che L. Constituents and thermal properties of milk thistle seed oils extracted with three methods. *LWT*. 2020. V. 126. 109282. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109282>.

52 Liu L., Zhang H. Milk Thistle Oil Extracted by Enzyme-Mediated Assisted Solvent Extraction Compared with n-Hexane and Cold-Pressed Extraction. *Molecules*. 2023. 28 (6): 2591. <https://doi.org/10.3390/molecules28062591>.

53 Drouet S., Leclerc E.A., Garros L., Tungmunnithum D., Kabra A., Haider Abbasi B., Lainé É., Hano C. A Green Ultrasound-Assisted Extraction Optimization

of the Natural Antioxidant and Anti-Aging Flavonolignans from Milk Thistle *Silybum marianum* (L.) Gaertn. Fruits for Cosmetic Applications. *Antioxidants (Basel)*. 2019. 8 (8):304. <https://doi.org/10.3390/antiox8080304>.

54 Kabutey A., Herák D., Mizera Ā. Assessment of Quality and Efficiency of Cold-Pressed Oil from Selected Oilseeds. *Foods*. 2023. 12 (19):3636. <https://doi.org/10.3390/foods12193636>.

55 Друкований М.Ф., Яремчук О.С., Сосновська Л.В. Технологія переробки біомаси. ВНАУ – Вінниця, 2016. 432 с.

56 Семенишин Є.М., Стадник Р.В. Механізм та кінетика екстрагування олії з амаранту в умовах нерухомого шару. *Вісник Нац. техн. університету XIII*. 2011. (58). С. 51–55.

57 Семенишин Є.М., Троцький В.І., Федорчук-Мороз В.І. Кінетика екстрагування олії з насіння щиріці загнутої. *Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. 2003. 488. С. 200–205.

58 Сиротюк С.В. Механізація переробки та зберігання продукції рослинництва: Курс лекції. 2-е вид. Львів: ЛДАУ, 2000. 249 с.

59 Досвід первинної переробки – екзотичні олії <https://propozitsiya.com/articles/dosvid-hospodarstv/dosvid-pervynnoyi-pereroboky-ekzotychni-oliyi> (дата звернення: 22.11.2025).

60 Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні: станом на 01.08.2025 р. Міністерство аграрної політики та продовольства України: веб-сайт. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin> (дата звернення: 15.08.2025 р.).

61 ДСТУ 4811:2007. Насіння олійних культур. Методи визначення вологості. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 10 с.

62 ДСТУ 7577:2014 Насіння олійне. Визначання вмісту олії методом екстракції в апараті Сокслета [Чинний від 01.05.2015]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2014.

63 ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 178 с.

64 ДСТУ 4350:2004. Олії. Методи визначання кислотного числа (ISO 660:1996, NEQ). [Чинний від 2005-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 11 с.

65 ДСТУ 4570:2006. Жири рослинні та олії. Метод визначання пероксидного числа. [Чинний від 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 9 с.

66 Hunt R.W.G., Pointer M.R. Measuring Colour: Fourth Edition. John Wiley & Sons, 2011. 496. <https://doi.org/10.1002/9781119975595>.

67 Melgosa M., Huertas R., Berns R. S. Performance of recent advanced color-difference formulas using experimental visual datasets. *JOSA A*, 2020. 37(4). P. 813–823.

68 Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів. *Охорона праці і пожежна безпека*: веб-сайт. URL: <https://oppb.com.ua/articles/klasyfikaciya-nebezpechnyh-i-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv> (дата звернення: 27.11.2025).

69 Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ «Про охорону праці.» [Чинний від 12.09.2025]. м. Київ. Розробник: Верховна Рада України https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61107.

70 НПАОП 0.00-1.71-13 Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. Державні Нормативні Акти з Охорони Праці. [Чинний від 28.03.2014]. м. Київ Розробник: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України.

71 Наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України «Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях». м. Київ [Чинний від 11.09.2012].

72 ДСТУ EN ІЕС 61010-2-010:2021 Вимоги щодо безпеки контрольно-вимірювального та лабораторного електричного устаткування. Частина 2-010. Додаткові вимоги до лабораторного устаткування для нагрівання матеріалів [Чинний від 01.08.2022]. Національний стандарт України. Київ.

73 Положення «Про систему управління охороною праці» в Дніпровському державному аграрно-економічному університеті. https://www.dsau.dp.ua/ua/page/vndoc_op.html (дата звернення: 27.11.2025).

74 Положення про порядок проведення навчання і перевірку знань з охорони праці та безпеки життєдіяльності працівників університету – 2023. https://www.dsau.dp.ua/ua/page/vndoc_op.html (дата звернення: 27.11.2025).

75 Павленко О.С. Методичні рекомендації до виконання розділу «Організаційно-економічна частина» дипломної роботи для здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Харчові технології» зі спеціальності 181 «Харчові технології» денної та заочної форми навчання. Дніпро: ДДАЕУ. 2020. 40 с.