

Хмельницький національний університет

Факультет технологій і дизайну

Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ БІОАКТИВНИХ ЕКСТРАКТІВ ІЗ
ВІДХОДІВ АГРОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ
ОРГАНІЧНОЇ КОСМЕТИЧНОЇ СИРОВАТКИ

Рівень вищої освіти другий магістерський

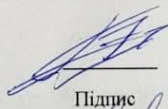
Галузь знань 16 — «Хімічна інженерія та біоінженерія»

Спеціальність 161 — «Хімічні технології та інженерія»

Освітня програма «Хімічні технології та інженерія»

КвРХТІ.024134.01.08.ПЗ

Виконала здобувачки 2 курсу група ХТІм-24-1



Діана ШЕВЧУК

Підпис

Керівник кандидат технічних наук, доцент.



Тетяна ІВАНІШЕНА

Підпис

Нормоконтролер старший викладач



Олександр СТРЕМЕЦЬКИЙ

Підпис

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри хімії та хімічної інженерії



Ольга ПАРАСКА

Підпис

19.12.2025

Дата

Хмельницький 2025

РЕФЕРАТ

Дослідження процесів отримання біоактивних екстрактів із відходів агропереробної промисловості для створення органічної косметичної сироватки

Шевчук Д. Г. Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент Іванішена Т. В.

Робота містить 78 с., 12 рисунків, 23 таблиці, 40 джерел. Ключові слова: АГРОВІДХОДИ, МАЦЕРАЦІЯ, ПОЛІФЕНОЛИ, ВІТАМІН С, ЯБЛУЧНА КИСЛОТА, ЕКСТРАКЦІЯ, СИРОВАТКА.

Мета роботи обґрунтування та дослідження ефективних не дороговартісних методів отримання біоактивних екстрактів із відходів агропереробної промисловості для подальшого використання їх як функціональних інгредієнтів в органічних косметичних сироватках.

Об'єкт дослідження — відходи агропереробної промисловості як потенційне джерело біоактивних речовин.

Предмет дослідження — технологічні процеси екстрагування біоактивних сполук із агропромислових відходів та їх застосування у створенні органічної косметичної сироватки.

Методи дослідження — теоретичні та експериментальні; аналіз джерел науково-технічної документації, порівняльний аналіз типів мацерації, експериментальна оптимізація параметрів екстрагування, розробка та тестування сироватки з біоекстрактами

Кваліфікаційна робота виконана в Хмельницькому національному університеті на базі кафедри хімії та хімічної інженерії відповідно до вимог освітньо-професійної програми та чинних нормативно-правових документів.

Проведений аналіз сучасних та доступних методів екстрагування. Проведений вибір методу мацерації та експериментальна оптимізація процесу екстракції. В результаті розроблено рецептуру органічної косметичної сироватки та проведено тестування з залученням групи добровольців.

Одержані результати можуть бути використані для впровадження технологій використання агропромислових відходів з подальшим вилученням органічних екстрактів, придатних для використання в косметичних продуктах.

Здобувач _____ Діана Шевчук

Дата подання роботи на кафедру _____

Зміст

Вступ.....	3
1 Аналітичний огляд використання відходів агропереробки як джерела біоактивних речовин.....	6
1.1 Сучасний стан агропромислових відходів та методів екстракції біоактивних речовин.....	6
1.2 Перспективи використання агровідходів у косметології.....	20
2 Об'єкти та методи досліджень.....	25
2.1 Об'єкти дослідження.....	25
2.2 Методи екстракції та оптимізація параметрів процесу.....	29
2.3 Методики визначення хімічного складу та оцінка активності.....	32
2.4 Методика створення косметичної сироватки на основі екстрактів	36
2.5 Методи випробування косметичного продукту.....	38
3 Дослідження процесів екстракції біоактивних речовин.....	40
3.1 Вибір оптимального способу екстракції для обраної сировини.....	40
3.2 Дослідження параметрів екстрагування.....	43
3.2.1 Вплив температури.....	44
3.2.2 Вплив часу.....	48
3.2.3 Вплив співвідношення відходи:розчинник.....	53
3.2.4 Вплив типу екстрагенту.....	58
3.3 Хімічний склад отриманих екстрактів.....	63
4 Розробка і випробування органічної косметичної сироватки.....	65
4.1 Розробка складу сироватки, опис процесу виготовлення сироватки..	65
4.2 Дослідження фізико-хімічних властивостей продукту.....	67
4.3 Оцінка ефективності продукту.....	70
Висновки.....	73
Перелік джерел посилань.....	75

ВСТУП

У сучасних умовах глобальних екологічних викликів та пошуку сталих рішень у різних галузях особливої актуальності набуває концепція циркулярної економіки, яка передбачає максимальне використання ресурсів та зменшення відходів. Агропереробна промисловість, яка є одним із ключових секторів економіки України, щорічно генерує значну кількість біовідходів, зокрема шкірки плодів, насіння, стебел, макухи та інших залишків. Часто ці ресурси вважаються непридатними до подальшого використання, однак сучасні наукові дослідження доводять, що вони можуть слугувати цінним джерелом біоактивних речовин — поліфенолів, вітамінів, органічних кислот, мінералів тощо. Таким чином, дослідження можливостей екстрагування корисних компонентів із таких відходів є вкрай перспективним напрямом, що дозволяє не лише зменшити навантаження на навколишнє середовище, а й створити інноваційну продукцію з доданою вартістю.

Окрему нішу для застосування подібних біоактивних екстрактів становить косметична промисловість, де зростає попит на натуральні, органічні та екологічно безпечні інгредієнти. Сучасний споживач все частіше віддає перевагу продуктам, які не містять синтетичних добавок, консервантів та компонентів нафтохімічного походження. У зв'язку з цим індустрія органічної косметики стрімко розвивається, а попит на ефективні рослинні компоненти зростає. Водночас використання залишкової сировини аграрного походження дозволяє не лише знизити собівартість косметичної продукції, а й забезпечити її природність, функціональність і безпечність. Особливий інтерес становить розробка косметичних сироваток — концентрованих засобів догляду за шкірою, які здатні забезпечувати живлення, зволоження, захист і регенерацію на клітинному рівні.

У контексті євроінтеграційного вектору розвитку України, важливою є підтримка наукових ініціатив, що поєднують екологічну свідомість, інновації та локальні ресурси. Отже, створення органічної косметичної сироватки на основі екстрактів із вторинної сировини не лише сприяє впровадженню принципів

зеленої хімії та сталого виробництва, а й відкриває нові можливості для вітчизняної науки, малого бізнесу та агропереробної галузі загалом.

Розробка ефективних методів екстрагування, дослідження складу отриманих біоактивних речовин та оцінка їх косметичного потенціалу є нагальним завданням сучасної прикладної науки, що має як практичне, так і соціально-екологічне значення.

Об'єкт дослідження — відходи агропереробної промисловості як потенційне джерело біоактивних речовин.

Предмет дослідження — технологічні процеси екстрагування біоактивних сполук із агропромислових відходів та їх застосування у створенні органічної косметичної сироватки.

Мета дослідження — обґрунтувати та дослідити ефективні та не дороговартісні методи отримання біоактивних екстрактів із відходів агропереробної промисловості з метою подальшого використання їх як функціональних інгредієнтів в органічних косметичних сироватках.

Завдання дослідження:

1. Провести аналітичний огляд сучасного стану агропромислових відходів та методів екстракції біоактивних речовин.

2. Дослідити можливості використання агровідходів як джерела цінних компонентів у косметології.

3. Обрати та охарактеризувати об'єкти дослідження — конкретні види агропромислових відходів, що містять біоактивні речовини.

4. Обрати й обґрунтувати метод екстракції, оптимізувати його параметри та визначити склад і біологічну активність отриманих екстрактів.

5. Розробити склад органічної косметичної сироватки на основі отриманих біоактивних екстрактів, визначити її фізико-хімічні властивості та провести лабораторне тестування

6. Оцінити ефективність створеного косметичного продукту за відповідними показниками.

Для досягнення поставленої мети було проведено серію експериментальних екстракцій сушеної яблучної шкірки, побічного продукту переробки яблук. Цей матеріал був обраний через його багатство на цільові біологічно активні сполуки, включаючи поліфеноли, вітамін С та органічні кислоти, які мають значний потенціал для натуральної косметики.

Для об'єктивного визначення якісного та кількісного складу екстрагованих сполук було використано різні сучасні аналітичні методи: спектрофотометричне визначення загального вмісту поліфенолів за допомогою реактиву Фоліна-Чокальтеу; йодометричне титрування для точного визначення аскорбінової кислоти та лужний аналіз на основі алкаліметричного титрування для визначення яблучної кислоти. Цей методологічний підхід дозволив не лише ідентифікувати основні компоненти екстракту, але й оптимізувати параметри мацерації для забезпечення максимального виходу активних інгредієнтів, зберігаючи при цьому їхню власну біологічну активність.

Практичне значення роботи проявляється у створенні прототипу органічної косметичної сироватки на основі екстрактів, отриманих із відходів агропереробки, з описом повного технологічного циклу: від вибору сировини і способу екстракції до методів тестування готового продукту. Такий підхід не лише сприяє впровадженню концепції zero-waste у виробничу практику, а й відкриває нові можливості для розвитку малого й середнього бізнесу в галузі органічної косметики, з урахуванням локальних ресурсів і економічних умов. Запропонована методика може бути адаптована у виробничих масштабах або використана як навчальний матеріал у закладах вищої освіти екологічного, біотехнологічного та хіміко-технологічного профілю. Крім того, результати дослідження мають значення для державної політики в сфері управління відходами, розвитку зеленої економіки та просування екоорієнтованих технологій, що є особливо актуальним у контексті інтеграції України до європейського простору сталого розвитку та гармонізації стандартів безпеки і якості продукції.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ АГРОПЕРЕРОБКИ ЯК ДЖЕРЕЛА БІОАКТИВНИХ РЕЧОВИН

1.1 Сучасний стан агропромислових відходів та методів екстракції біоактивних речовин

Сучасна агрохарчова промисловість є ключовим сектором національної та світової економіки, що забезпечує ефективне використання сільськогосподарської сировини та виробництво широкого асортименту продукції для харчової, фармацевтичної, косметичної, хімічної та інших суміжних галузей промисловості. Продукція цього сектору має прямий вплив на продовольчу безпеку, зайнятість та регіональний розвиток. Однак швидке зростання агрохарчового виробництва супроводжується утворенням значної кількості побічних продуктів та відходів, які часто не використовуються та накопичуються на підприємствах або забруднюють навколишнє середовище.

Ці невідновлені агрохарчові відходи становлять серйозну екологічну проблему, оскільки їх зберігання або неконтрольоване видалення може призвести до забруднення ґрунту, води та повітря, а також сприяти утворенню парникових газів. Крім того, значна частина цих відходів багата на органічні сполуки, біоактивні речовини, вітаміни, мінерали, поліфеноли, органічні кислоти та клітковину. Це підкреслює їхній значний потенціал як ресурсів та можливість використання їх як вторинної сировини для створення інноваційних продуктів з високою доданою вартістю.

Переробка відходів є пріоритетом сучасного промислового розвитку, відповідно до принципів сталого розвитку та циркулярної економіки. Це не лише зменшує негативний вплив діяльності людини на навколишнє середовище, але й підвищує ефективність використання природних ресурсів, знижує витрати на сировину та оптимізує виробничі процеси. Раціональне управління відходами сприяє встановленню замкнутих виробничих циклів, у

яких побічні продукти одного процесу стають сировиною для іншого.

Утилізація сільськогосподарських відходів може бути досягнута шляхом повторного використання, глибокої переробки або реінтеграції у виробничі цикли після відповідної фізико-хімічної, біотехнологічної або термічної обробки. Особлива увага приділяється технологіям екстракції та фракціонування, які дозволяють виділити цінні компоненти для подальшого використання в харчових добавках, косметичці, фармацевтиці або функціональних інгредієнтах. В результаті, відходи сільськогосподарської переробки більше не розглядаються виключно як проблему утилізації, а як перспективне джерело вторинної сировини та рушійна сила інновацій для промисловості. Згідно з даними статистичних спостережень, за 2019 рік з понад 14 млн тонн утворених сільськогосподарських та харчових відходів наймасовішими є відходи рослинного походження [1].

Аналіз рослинних відходів агропромислового сектору України за період з 2019 по 2023 рік виявляє значні коливання у обсягах відходів (таблиця 1.1)

Таблиця 1.1 — Тенденції зміни рослинних відходів сільського господарства України за період за 2019-2023рр

Відходи	2019	2020	2021	2022	2023
Рослинного походження тис.т/рік	8068,6	3314,7	4433,9	3125,7	2959,4

Обсяги рослинних відходів знизилися на 58,9% у 2020 році, але зросли на 33,8% у 2021 році, після чого зменшились на 29,5% та 5,3% у 2022 та 2023 роках відповідно [2].

Відходи сільськогосподарської та харчової промисловості являють собою неоднорідну та багатогранну групу побічних продуктів, що утворюються на різних етапах сільськогосподарського виробництва. Ці відходи виникають як в

результаті сільськогосподарської діяльності, так і в результаті промислової.

Залежно від їх походження, фізико-хімічних властивостей та потенціалу використання, відходи сільськогосподарської та харчової промисловості можна розділити на дві основні групи.

Перша група складається з сільськогосподарських відходів від вирощування, збору врожаю та попередньої обробки. До них належать солома зернових, стебла та листя, стручки та лушпиння кукурудзи, соняшнику та ріпаку, а також відходи сортування та класифікації фруктів та овочів. Ці відходи характеризуються великою кількістю, сезонними коливаннями та високим вмістом органічних речовин. У більшості випадків вони неналежним чином утилізуються або зберігаються на місці, що може додатково обтяжувати екосистеми.

Друга група складається з відходів, що утворюються безпосередньо під час промислової переробки сільськогосподарської сировини. Ці відходи утворюються на сільськогосподарських та харчово-переробних підприємствах, зокрема на цукрових та жиропереробних заводах, заводах з переробки фруктів та овочів, виноробнях, крохмалеварнях та заводах з виробництва фруктових соків. До цієї групи належать жом, макуха, борошно, вичавки, шкірка, ядра, насіння та рідкі вторинні фракції. Ці відходи характеризуються відносно стабільним хімічним складом і зазвичай містять значну кількість біологічно активних сполук, особливо поліфенолів, органічних кислот, пектинів, харчових волокон та природних антиоксидантів.

Класифікація сільськогосподарських та харчових відходів за стадією їх утворення має вирішальне значення для вибору ефективних методів утилізації та обробки. Сільськогосподарські відходи в першу чергу розглядаються як потенційне джерело біомаси для виробництва енергії або як органічні добрива для покращення властивостей ґрунту. Натомість відходи від промислової переробки рослинної сировини мають значно більший потенціал для подальшої переробки та відновлення цінних сполук для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості.

Основні типи рослинних відходів та обсяги їх утворення наведені у таблиці 1.2 [3]

Таблиця 1.2 — Обсяги основних типів рослинних відходів

Тип відходів	Об'єми
Солома	від 0,8 до 1,5 на 1 т зерна
Зернові висівки	до 6% від бункерної маси зерна
Качани кукурудзи облущені	до 20% від бункерної маси зерна
Буряковий жом	від 15 до 20 млн т за сезон цукроваріння
Лушпиння соняшника	від 16 до 20 % від маси переробленого зерна
Фруктові вижимки	1,7 млн т на рік

Використання побічних продуктів сільськогосподарської переробки повністю відповідає принципам зеленої хімії, які сприяють раціональному використанню природних ресурсів, зменшенню відходів та пом'якшенню негативного впливу хімічних процесів на навколишнє середовище. Крім того, цей підхід узгоджується зі стратегією Європейського Союзу щодо сталого управління ресурсами та переходу до циркулярної економіки, метою якої є оптимізація інтеграції вторинної сировини у виробничі цикли [4]. У цьому контексті агропромислові відходи не вважаються небажаним побічним продуктом, а радше важливим компонентом ресурсної бази для розвитку інноваційних технологій та продуктів.

Перетворення сільськогосподарських відходів на цінну сировину є ефективним способом зменшення впливу на навколишнє середовище, оскільки зменшує кількість відходів, що потрапляють на звалища, та неконтрольоване накопичення органічних відходів. Водночас, цей підхід являє собою економічно вигідну модель розвитку біоекономіки, в якій відновлювані біологічні ресурси використовуються для виробництва продукції з високою доданою вартістю.

Впровадження принципів біоекономіки допомагає підвищити конкурентоспроможність сільськогосподарського сектору, розробити інноваційні методи виробництва та відкрити нові нішеві ринки.

Систематичне та багаторазове утилізування сільськогосподарських відходів дозволяє отримувати широкий спектр добавок, що мають практичний інтерес для економіки багатьох секторів. Основна цінність цих відходів полягає в їх використанні як вторинної сировини для виробництва різних матеріалів та продуктів. Зокрема, відходи сільськогосподарської переробки використовуються у виробництві кормів для тварин як джерело клітковини, білка, вуглеводів та мікроелементів, що допомагає знизити витрати на корми та підвищити ефективність тваринництва.

Крім того, впровадження інтегрованих технологій переробки агропромислових відходів сприяє зменшенню залежності сектору від імпортової сировини та ресурсів. Раціональне використання побічних продуктів оптимізує матеріальні потоки всередині компаній та підвищує загальну ефективність виробничих процесів. Ще однією суттєвою перевагою є зниження витрат на утилізацію та зберігання відходів, що позитивно впливає на економічні показники виробництва. З екологічної точки зору, повторне використання органічних відходів сприяє зменшенню викидів парникових газів та антропогенного навантаження на навколишнє середовище. У довгостроковій перспективі такий підхід стимулює розвиток інноваційних біотехнологій та впровадження ресурсоефективних принципів. Таким чином, інтегрована переробка агропромислових відходів є ключовим фактором переходу до моделей сталого виробництва та споживання.

Поза межами кормового сектору, рослинні відходи можуть бути використані для виробництва біоенергії, біопалива, органічних добрив, біополімерів, сорбентів та функціональних добавок. Особливо перспективним є їх використання як сировини для вилучення біоактивних сполук, включаючи поліфеноли, пектини, органічні кислоти та природні антиоксиданти. Ці сполуки використовуються в харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості.

Таким чином, комплексна переробка агропромислових відходів дозволяє реалізувати принцип безвідходного виробництва та забезпечує ефективне використання ресурсного потенціалу сільськогосподарського сектору для худоби, добрив, палива та продуктів екологічного, медичного та харчового призначення (таблиця 1.3)

Таблиця 1.3 — Можливості повторного використання деяких типів рослинних відходів

Тип відходів	Рециклінг
Відходи переробки технічних і олійних культур	виробництво кормового і харчового білка, виробництво медикаментів, кормових добавок, спирту [5]
Відходи переробки плодоовочевих культур і винограду	одержання харчових, кормових технічних продуктів
Відходи побічних продуктів і відходів плодово-ягідної сировини	виготовлення кормів або згодовування тваринам у свіжому вигляді
Лушпиння соняшнику, гречки, проса, багаття льону, солома, тирса м'яких і твердих порід деревини, а також інші рослинні відходи	виробництво біопалива та сорбентів[6]

Відходи агрохарчової промисловості, зокрема компаній, що спеціалізуються на виробництві фруктових пюре, соків холодного віджиму та натуральних кондитерських виробів на основі фруктів, становлять особливий науковий та практичний інтерес. Ці продукти характеризуються значною кількістю побічних продуктів, що утворюються в результаті подрібнення, пресування та фільтрування фруктів. Під час переробки фруктів втрати маси можуть становити від 0,9 до 1,4 мільйона тонн на рік, що становить значні обсяги органічних відходів, які потребують раціонального управління та утилізації.

В Україні найпоширенішими агропромисловими відходами переробки фруктів є яблучні та виноградні вичавки, які утворюються у великих кількостях

під час великомасштабного виробництва соків, сидру та вин. Ці відходи характеризуються подібним морфологічним складом та високим вмістом біологічно активних сполук, включаючи харчові волокна, пектини, поліфеноли та органічні кислоти. Інші фруктові вичавки, такі як відходи переробки груш, слив, вишень та ягід, демонструють подібну швидкість утворення, що обґрунтовує їх об'єднання в одну категорію на основі їх потенціалу валоризації. Кількісний аналіз темпів утворення основних видів фруктових відходів представлено в таблиці 1.4 [3], що дозволяє оцінити масштаб проблеми та визначити найперспективніші напрямки їх вторинної переробки. Високий потенціал яблучних та виноградних вичавок обґрунтовує розробку технологій їх комплексної переробки з метою отримання цінних інгредієнтів для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості. Таким чином, відходи фруктово-переробної промисловості можна вважати важливою вторинною сировиною, використання якої відповідає принципам сталого розвитку та циркулярної економіки.

Таблиця 1.4 — Об'єми утворення фруктових відходів

Тип відходів	Об'єм, млн т на рік	Відсоткове співвідношення між видами фруктових відходів, %
Яблучний жмих	від 0,5 до 0,9	від 55,6 до 64,3
Виноградний жмих	від 0,2 до 0,3	від 22,2 до 21,4
Жмих інших плодів фруктових	0,2	від 22,2 до 14,3

Співвідношення між обсягами відходів можуть варіюватись в невеликих межах, проте ранжування об'єктів залишається стабільним. Нестабільність цих показників зумовлює низка чинників, таких як сезонність, рівень врожайності, попит та ціноутворення.

Одна з головних переваг агропромислових відходів полягає в їхній високій біодоступності, відносно низькій вартості та відновлюваності, що ідеально

відповідає сучасним принципам сталого розвитку косметики. Концепція сталого розвитку косметики базується на екологічній сумісності, мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище протягом усього життєвого циклу продукту та використанні вторинної та відновлюваної сировини. У цьому контексті сільськогосподарські відходи вважаються перспективним джерелом натуральних інгредієнтів з функціональними властивостями, які можуть замінити свої синтетичні аналоги без втрати ефективності.

Серед різноманітних агропромислових відходів виділяються яблучні відходи. Незважаючи на дестабілізуючі фактори, такі як сезонність їх утворення та мінливість їхнього хімічного складу, яблучні відходи становлять значну частку від загального обсягу вторинної сировини та можуть бути використані в різних промислових секторах. Хімічний та морфологічний склад яблучних відходів значною мірою залежить від сорту плодів, ступеня стиглості, а також від використаних методів попередньої обробки та переробки. Вони містять м'якоть, шкірку, насіння або залишки серцевини, а також залишкову вологу.

Після переробки яблучні відходи зберігають значну частку своїх біоактивних сполук, включаючи поліфеноли, вітаміни та органічні кислоти, що робить їх цінною вторинною сировиною. Поліфеноли яблук представляють особливий інтерес, відомі своїми антиоксидантними, протизапальними та захисними властивостями. Завдяки своїй здатності нейтралізувати вільні радикали, ці сполуки допомагають зменшити оксидативний стрес та протидіяти передчасному старінню шкіри.

Поліфеноли складають велику та структурно різноманітну групу вторинних метаболітів рослин. Вони містять численні фенольні фрагменти у своїй молекулярній структурі та проявляють виражену антиоксидантну активність [7]. Згідно з літературними даними, на сьогоднішній день ідентифіковано щонайменше 8000 різних поліфенольних сполук; вони широко поширені в рослинному світі.

Яблучні відходи містять низку високобіоактивних поліфенолів, концентрація яких значною мірою зберігається після виробництва соку або пюре. Найважливіші представники цієї групи та їхні властивості наведено в таблиці 1.5 [8, 9], що підтверджує потенціал яблучних відходів як джерела природних антиоксидантів для косметичної продукції.

Таблиця 1.5 — Яблучні поліфеноли та їх властивості

Поліфенол	Властивості
Катехін	сприяє регулюванню рівня цукру в крові
Хлоргенова кислота	сприяє помірному метаболізму вуглеводів
Епікатехін	проявляє антиоксидантні властивості і впливає на роботу серцево-судинної системи

В організмі людини поліфеноли проявляють виражену біологічну активність. Вони сприяють, зокрема, зменшенню запальних процесів та зміцненню серцево-судинної системи. Значною перевагою регулярного споживання поліфенолів з їжею є покращення когнітивних функцій, особливо пам'яті та концентрації, а також зниження ризику деменції та інших нейродегенеративних захворювань. Ці ефекти пов'язані зі здатністю поліфенолів модулювати окисно-відновні процеси, пригнічувати нейрозапалення та захищати нервові клітини від пошкоджень, спричинених вільними радикалами.

У фруктах поліфеноли виконують захисну функцію, забезпечуючи стійкість рослин до ультрафіолетового випромінювання, комах-фітофагів та патогенних мікроорганізмів, включаючи грибкові інфекції. Найвищі концентрації цих сполук містяться в зовнішніх захисних шарах плодів, особливо в шкірці, де їх вміст вищий від 3 до 6 разів, ніж у м'якоті [10]. Ця властивість пояснює високу цінність яблучних відходів, які містять значну частку шкірки після переробки плодів.

Яблука є важливим джерелом вітаміну С серед українських фруктів та ягід, поступаючись лише полуниці та чорній смородині [11]. Побічні продукти переробки яблук можуть містити від 15 % до 35 % аскорбінової кислоти, яка, залежно від методів попередньої обробки та умов обробки, може бути відсутнім у кінцевому продукті. Це підтверджує цінність яблучних побічних продуктів як джерела цінних водорозчинних вітамінів.

Вітамін С (аскорбінова кислота) є водорозчинним вітаміном, необхідним для організму людини та відіграє ключову роль у багатьох життєво важливих біохімічних процесах. Це потужний антиоксидант, який нейтралізує вільні радикали та перекиси, захищаючи клітини від оксидативного стресу. Вітамін С діє як кофактор для різних ферментів, що беруть участь у синтезі колагену, основного структурного білка сполучної тканини. Достатнє споживання вітаміну С є важливим для належного функціонування шкіри, кісткової та хрящової тканин, зубної емалі та кровоносних судин. Крім того, аскорбінова кислота має імуномодулюючі властивості та, зокрема, допомагає покращити окисно-відновні реакції фагоцитів, які відіграють вирішальну роль у боротьбі з інфекційними агентами.

Споживання аскорбінової кислоти зміцнює стійкість організму до інфекційних захворювань та підтримує функцію імунної системи [12].

Завдяки широкому спектру дії вітамін С широко використовується в косметичці. Він, зокрема, забезпечує антиоксидантний захист шкіри, зменшує гіперпігментацію та стимулює синтез колагену. Регулярне використання косметики, що містить аскорбінову кислоту або її стабілізовані похідні, допомагає покращити еластичність шкіри, тонус та вирівняти її текстуру.

Основні косметичні ефекти та застосування вітаміну С наведено в таблиці 1.6, яка підкреслює його важливість як активного інгредієнта в сучасних косметичних продуктах.

Таблиця 1.6 — Вплив на шкіру при застосуванні вітаміну С

Функція в косметології	Основний вплив
Антиоксидантний та фотозахист	захист шкіри від вільних радикалів, що виникають через УФ-опромінення та забруднення; в поєднанні з сонцезахисним кремом створює антиоксидантний щит проти фотостаріння
Стимуляція синтезу колагену	підвищується пружність і еластичність шкіри, мінімізація проявів зморшок
Антипігментна дія	зниження активності ферментів, що стимулюють вироблення меланіну, вирівнювання тону шкіри [13]

Одним з найважливіших компонентів яблучних відходів є органічні кислоти, зокрема яблучна кислота, яка відіграє значну роль у біохімічних процесах рослин та людини. При потраплянні в організм яблучна кислота метаболізується до малатів, які беруть активну участь у циклі лимонної кислоти та інших важливих метаболічних процесах. Малати сприяють покращенню загального самопочуття та нормалізації енергетичного обміну, а також можуть допомогти знизити артеріальний тиск. У відповідних дозах яблучна кислота рекомендується людям з гіпертонією, а також використовується як допоміжна терапія при дисфункції нирок та при деяких методах лікування раку.

У косметичі яблучна кислота часто використовується як активний інгредієнт з очищувальними, зволожуючими, антиоксидантними та протизапальними властивостями [14]. Вона належить до групи альфа-гідроксикислот, які використовуються для м'яких хімічних пілінгів, стимуляції оновлення епідермісу та покращення текстури шкіри. Завдяки своїй відносно вищій молекулярній масі порівняно з іншими кислотами, що використовуються в косметичі, яблучна кислота діє повільніше та м'якше. Ця властивість особливо важлива для догляду за чутливою, реактивною або подразненою

шкірою, оскільки вона знижує ризик почервоніння та підтримує бар'єрну функцію шкіри.

На відміну від синтетичних аналогів, екстракти з рослинних залишків зазвичай містять різноманітні природні антиоксиданти, органічні кислоти та споріднені біоактивні сполуки, які можуть працювати синергетично. Цей комплексний ефект пояснює зростаючий інтерес до оптимізації технологій переробки фруктових залишків для отримання високоефективних антиоксидантних екстрактів. Використання цих екстрактів має великі перспективи в догляді за шкірою, запобіганні передчасному старінню шкіри та підтримці загального здоров'я. Сучасні споживачі все більше звертають увагу не лише на ефективність косметики, але й на походження інгредієнтів, прозорість ланцюгів поставок та відсутність потенційно шкідливих речовин, особливо парабенів, сульфатів та мінеральних олій. У цьому контексті вторинна сировина з виробництва харчових продуктів користується особливою довірою, оскільки вона є натуральною, безпечною та відповідає принципам екологічної відповідальності.

В контексті сучасного науково-технічного розвитку залишки агропромисловості більше не вважаються неповноцінними або непотрібними відходами, а радше стратегічною сировиною для виробництва цільових активних інгредієнтів з високою біодоступністю, стабільністю та функціональною ефективністю. Наукові знання, отримані в цій галузі, створюють необхідні передумови для розробки ефективних, безпечних та конкурентоспроможних косметичних продуктів на основі натуральної вторинної сировини, які відповідають вимогам сталого розвитку та очікуванням споживачів.

Методики екстракції поділяються на класичні, легко відтворювані методи без необхідності застосування спеціального обладнання та інноваційні, які потребують попереднього фінансування для відтворення методики. До методів належать мацерація, ультразвукова та мікрохвильова екстракції,

методи відрізняються не лише економічної точки зору, але й за низкою інших факторів (таблиця 1.7).

Таблиця 1.7 — Порівняльна характеристика методів екстракції

Критерій	Мацерація [15]	Ультразвукова екстракція [16]	Мікрохвильова екстракція [17]
Принцип дії	Статичне або помірно механічне замочування подрібненої сировини в розчиннику Повільний процес, що не пошкоджує термолабільні сполуки при кімнатній температурі	Використовує Ультразвукові хвилі Утворення і колапс Бульбашок у розчиннику викликає мікроструми та руйнування клітинних структур, що покращує масообмін і швидкість екстракції	Мікрохвилі інтенсивно нагрівають внутрішню вологу/полярні молекули в матриці локальне нагрівання і підвищення тиску в клітинах призводять до руйнування клітин і швидкого вивільнення сполук у розчинник
Основні параметри і типові діапазони	Розчинник полярний/неполярний; Співвідношення між речовиною та розчинником — від 1:5 до 1:20; Т — від 2 год до 72 год; t — кімнатна або збільшена.	Розчинник змішаний; Співвідношення між речовиною та розчинником — від 1:10 до 1:30; Т — від 20 хв до 60 хв; t — від 20 °С до 60 °С; N — від 100 W до 500 W; f — від 20 МГц до 40 МГц	Розчинник змішаний; Співвідношення між речовиною та розчинником — від 1:10 до 1:30; Т — від 30 с до 300с; t — від 60 °С до 120 °С; N — від 100 W до 1000 W;

Продовження таблиці 1.7

Критерій	Мацерація	Ультразвукова екстракція	Мікрохвильова екстракція
Необхідне обладнання	Скляні колби/банки, мішалки або періодичне струшування; фільтри, помірні охолоджувачі або термостати за потреби. Мінімальні інвестиції	Ультразвукова ванна або ультразвуковий зондувальний прилад; магнітна мішалка, термоконтроль, фільтрація	Мікрохвильовий реактор/екстрактор; конденсаційна система для розчинників; Система охолодження або вакуум для безпечного відведення пари

Примітка. $t, ^\circ\text{C}$ — температура; T — час; N, W — потужність; $f, \text{МГц}$ — частота ультразвуку.

Кінець таблиці 1.7

При порівнянні економічної доцільності методик було визначено, що оптимальною методикою для екстрагування поліфенолів та допоміжних сполук з відходів яблучної переробки є мацерація, адже методика надзвичайно проста, дешева, не вимагає складного обладнання, щадна щодо термолабільних сполук, підходить для навчальних практикумів, демонстрацій і початкових скринінгів.

1.2 Перспективи використання агровідходів у косметології

Зростаючий інтерес до органічної та натуральної косметики стимулює пошук нових джерел біоактивних інгредієнтів, які поєднують високу ефективність, безпеку, екологічність та етичне постачання. У цьому контексті агропромислові відходи — залишки рослинної сировини після їх

технологічної обробки — вважаються перспективним та економічно вигідним джерелом цінних сполук для косметичної промисловості. Їх використання не тільки зменшує вплив на навколишнє середовище, але й впроваджує принципи циркулярної економіки шляхом реінтеграції ресурсів у виробничі цикли.

У країнах Європейського Союзу [18] та Азії [19] промислове виробництво натуральної косметики з компонентів, отриманих із сільськогосподарських відходів, вже добре налагоджено. Наприклад, японські косметичні бренди зазвичай використовують ферментоване рисове лушпиння у своїх лосьйонах та зволожуючих есенціях, а італійські виробники включають екстракти шкірки граната до своїх продуктів для омолодження та регенерації шкіри. Ці приклади демонструють, що можна інтегрувати сільськогосподарські побічні продукти у високотехнологічні косметичні формули, не змінюючи їхніх властивостей для споживача.

Використання сільськогосподарських та промислових відходів у виробництві косметики дозволяє цінувати матеріали, які раніше вважалися неякісними або проблематичними. Такий підхід зменшує залежність виробників від імпортової сировини та сприяє зниженню виробничих витрат. Водночас це створює значні екологічні та маркетингові переваги, оскільки сучасні споживачі все частіше віддають перевагу косметиці з прозоро отриманими інгредієнтами, виробленими відповідально.

З економічної точки зору, перетворення сільськогосподарських відходів на косметичні інгредієнти сприяє створенню місцевої вартості та розвитку регіональних виробничих центрів. Крім того, цей підхід пропонує агропродовольчим компаніям можливість диверсифікувати свою діяльність, продаючи перероблені залишки як сировину косметичній, фармацевтичній та харчовій промисловості.

Встановлення міжгалузевих ланцюгів поставок між сільським господарством та виробництвом косметики скорочує цикл переробки відходів та мінімізує витрати на транспортування та зберігання.

Важливість використання сільськогосподарських відходів у виробництві косметики зростає в контексті глобальної тенденції до «чистих етикеток». Ця тенденція сприяє простим, зрозумілим та натуральним складам засобів особистої гігієни. Споживачі все більше звертають увагу не лише на ефективність косметики, але й на походження її інгредієнтів, прозорість ланцюгів поставок та відсутність потенційно шкідливих речовин, зокрема парабенів, сульфатів та мінеральних олій.

У цьому контексті вторинна сировина з виробництва харчових продуктів завойовує довіру завдяки своєму природному та безпечному походженню. У Східній Європі ці інгредієнти вже широко використовуються у виробництві бальзамів для губ, кремів для рук та лосьйонів для тіла.

Основною перевагою косметики, виготовленої з сільськогосподарських відходів, є її високий потенціал для отримання міжнародних сертифікатів натуральності та органічної якості, зокрема ECOCERT, COSMOS, ICEA, NATRUE та EU Ecolabel [20]. Ці сертифікати зміцнюють довіру споживачів та конкурентоспроможність продукції на міжнародному ринку.

Окрема та відносно нова галузь досліджень зосереджена на використанні агровідходів як джерела натуральних барвників для косметики. Наприклад, шкірка червонокочанної капусти містить антоціани, які можуть надавати фіолетових або рожевих відтінків емульсіям без синтетичних добавок. Подібні властивості виявлені в екстрактах буряка (багатого на бетанін), моркви (багатої на бета-каротин), а також чорниці та винограду, які багаті на антоціанові пігменти [21].

Ще однією важливою перевагою сільськогосподарських відходів у косметиці є їхня здатність здійснювати багатофункціональний ефект. Біоактивні сполуки з фруктів, овочів та насіння зазвичай мають кілька функцій. Поліфенольні комплекси, наприклад, діють одночасно як антиоксиданти, фотозахисні засоби та протизапальні засоби, а також сприяють підтримці природного ліпідного бар'єру шкіри. Цей багатогранний ефект робить сільськогосподарську сировину особливо цікавою для розробки

сучасних косметичних формул, що сприяють мінімалістичному складу з широким спектром дії [22].

Антиоксидантні сироватки відіграють важливу роль у сучасному догляді за обличчям та тілом. Їхня популярність зумовлена їхньою здатністю ефективно боротися з оксидативним стресом, нейтралізувати вільні радикали, покращувати структуру шкіри, стимулюючи синтез колагену та вітамінів, вирівнювати тон шкіри та зміцнювати шкірний бар'єр. Тому поліфенольні сполуки та антиоксидантні екстракти все частіше включаються до складу сучасних сироваток. Основні застосування та переваги використання екстрактів, багатих на поліфеноли, наведені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 — Ключові напрямки та переваги антиоксидантних сироваток

Напрямок дії	Переваги застосування
Комплексна дія	сироватки поєднують в собі різноманітні компоненти поліфенольного походження, які в комплексі дозволяють забезпечити потужну відновлювальну дію на шкіру
Захист від старіння	запобігають передчасним зморшкам, в'ялості та пігментації
Посилення дії інших косметичних засобів	використання в комплексі з іншою оглядовою косметикою покращує її дію, адже підготовлює шкіру до подальших оглядових процедур

Таким чином, потенціал залишків сільськогосподарської переробки в косметиці не обмежується лише екстракцією окремих біоактивних компонентів. Вони являють собою універсальну та складну платформу для розробки функціональних інгредієнтів із широким спектром дії: антибактеріальні, протизапальні та антиоксидантні властивості; ефекти синтезу колагену; фотозахисні та регенеративні властивості.

Окрім активних інгредієнтів, залишки сільськогосподарської продукції також можуть служити джерелом косметичних допоміжних речовин, включаючи емульгатори, стабілізатори, загусники та натуральні барвники. Це дозволяє значно скоротити використання синтетичних добавок у косметичній продукції.

Значні наукові досягнення у комплексній переробці агропромислових відходів відкривають шлях для розробки інноваційних технологій отримання косметичних інгредієнтів з передбачуваними властивостями та високою біодоступністю. Використання сучасних процесів екстракції, фракціонування та стабілізації активних інгредієнтів зберігає їх функціональну активність та забезпечує їх стабільність у готових косметичних рецептурах.

Такий підхід не тільки допомагає підвищити ефективність косметичної продукції, але й розширює асортимент продукції, дозволяючи адаптувати її до різних типів шкіри та індивідуальних потреб споживачів.

З екологічної точки зору, використання побічних продуктів сільського господарства в косметичній промисловості є ефективним способом зменшення харчових відходів та зменшення тиску на навколишнє середовище. Перехід від лінійної моделі «виробництво-споживання-утилізація» до замкнутих циклів ресурсів відповідає принципам циркулярної економіки та сталого розвитку. Одночасно це сприяє ефективному використанню біологічних ресурсів та зменшує вуглецевий слід косметичного виробництва.

З соціально-економічної точки зору, впровадження таких підходів створює умови для розвитку міжгалузевої співпраці між сільським господарством, харчовою промисловістю та косметичною промисловістю. Це дозволяє створювати місцеву цінність, сприяє регіональному виробництву та зміцнює конкурентоспроможність вітчизняної косметичної продукції як на національному, так і на міжнародному ринках. Крім того, використання вторинної сировини відповідає сучасним очікуванням споживачів щодо прозорості, етичної практики та екологічної відповідальності брендів.

2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження в даній роботі обрано рослинні відходи агропереробної промисловості, які утворюються як побічна сировина після первинної обробки яблук. Основну увагу було зосереджено яблучній шкірці, яка зазнає найменшої хімічної або термічної обробки під час технологічного процесу, а отже — зберігає значну кількість біологічно активних речовин. Обраний тип сировини характеризуються високим вмістом поліфенолів, вітаміну С, органічних кислот та мікроелементів, які мають антиоксидантну, протизапальну, зволожувальну та фотозахисну дію. Окрім того, ці компоненти широко застосовуються в натуральній косметології завдяки своїй сумісності з людською шкірою, відсутності токсичності та здатності підтримувати фізіологічну рівновагу епідермісу.

Сировина була отримана з локального підприємства ТОВ «Фрут про Хмельницький», що спеціалізується на виготовленні соків, джемів та пюре. Продукція виготовляється з сировини фермерських господарств області, що підвищує екологічну та економічну обґрунтованість дослідження. Додатково враховано сезонність збору, умови зберігання та ступінь подрібнення відходів, які мають прямий вплив на ефективність подальших процесів екстрагування.

Додатково для створення косметичної сироватки використовувались такі компоненти: дистильована вода, декспантенол, гідрогенізований лецитин, молочна кислота, сорбат калію та лавандова ефірна олія.

Дистильована вода використовується як розчинник для активних речовин. Її стабільність та повторюваність ключових параметрів забезпечують відтворюваність технологічних процесів та аналітичних методів у лабораторіях косметичних виробництв. Для лабораторних і аналітичних цілей використовують вимоги ДСТУ ISO 3696:2003 «Вода для застосування в лабораторіях. Вимоги та методи перевіряння» [23], який встановлює параметри чистоти води (рівень

електропровідності, відсутність окисно-здатних матеріалів, механічних домішок тощо) і є ідентичним до міжнародного ISO-стандарту. Така вода може бути використана для підготовки розчинів реактивів і розробки косметичних формул, де присутність домішок може негативно впливати на стабільність та ефективність продукту.

Гліцерин — це безбарвна, в'язка, гігроскопічна рідина без запаху та з солодкуватим смаком, яка широко використовується в косметичній промисловості як багатофункціональний інгредієнт водної фази. Завдяки вираженим зволожувальним (гумектантним) властивостям гліцерин здатний утримувати воду в роговому шарі шкіри, запобігаючи її трансепідермальній втраті та покращуючи еластичність і м'якість шкіри. У косметичних формулах гліцерин застосовується як зволожувач, розчинник для водорозчинних активних речовин, стабілізатор консистенції та допоміжний компонент емульсій, кремів, гелів, сироваток і тоніків. Для косметичних і лабораторних цілей використовують гліцерин фармакопейної або косметичної якості, що відповідає вимогам Державної фармакопеї України, де регламентуються показники ідентифікації, чистоти, вмісту води, кислотності, відсутності домішок альдегідів, важких металів і органічних забруднювачів [24]. Дотримання фармакопейних вимог гарантує безпечність гліцерину та його придатність для використання у складі косметичних формул, у яких навіть незначні домішки можуть негативно впливати на стабільність, мікробіологічну безпеку та ефективність готового продукту.

Декспантенол (провітамін B5) є одним із ключових зволожувальних і загоювальних агентів у косметиці. Використання декспантенолу в косметиці зумовлене його доброю переносимістю та низьким ризиком подразнення. У нормативній практиці для опису якості субстанції декспантенолу застосовують положення Державної Фармакопеї України [25], де наведено методи контролю чистоти, ідентифікації та кількісного визначення цієї речовини при виробництві фармацевтичних і косметичних субстанцій, що гарантує відповідність стандартам безпеки та ефективності.

Гідрогенізований лецитин — це ліпідна фракція, отримана шляхом контрольованого гідрування природного лецитину. У косметичній технології він використовується як емульгатор та кондиціонуючий агент: здатність фосфоліпідів формувати двошарові структури підсилює стабільність емульсій та покращує проникнення активів у шкіру. Гідрогенізована форма лецитину має підвищену окисну стабільність порівняно з негідрогенізованим лецитином, що позитивно впливає на термін придатності готових продуктів та їх естетичні властивості. Гідрогенізований лецитин функціонує як безпечний компонент у косметичних засобах і може використовуватися як у змивних, так і в залишкових продуктах при допустимих концентраціях до 15 % без істотного ризику подразнення шкіри. Як правило, стандартизація цього компонента здійснюється через технічні умови виробника, які включають мікробіологічні, фізико-хімічні та органолептичні параметри, оскільки окремого ДСТУ саме на гідрогенізований лецитин як косметичну субстанцію наразі не затверджено.

Молочна кислота є представником альфа-гідроксикислот і в косметиці застосовується для регулювання рН продукту, як ексфоліант та гідратант. Молочна кислота сприяє розчиненню корнеоцитарного цементу між ороговілими клітинами, що покращує текстуру шкіри, вирівнює тон та активізує оновлення епідермісу. Крім того, як регулятор рН вона забезпечує оптимальні умови для дії консервантів і стабільності формули. Для специфікації чистоти та якісних характеристик молочної кислоти існує ДСТУ 4621:2006 «Кислота молочна харчова. Загальні технічні умови» [26], який встановлює вимоги до складу, органолептичних показників і фізико-хімічних властивостей цієї сполуки. Хоча стандарт орієнтований на харчову сферу, він може бути використаний як орієнтир для оцінки базової якості молочної кислоти, що застосовується в косметичних продуктах, особливо у випадках, коли необхідно підтвердити чистоту сировини або відповідність фізико-хімічних параметрів.

Сорбат калію — це широко поширений консервант, який ефективно пригнічує розвиток дріжджів і плісняви в косметичних водних системах. Його використання зумовлене низькою токсичністю та широкою історією безпечного застосування як у харчових продуктах, так і в косметичних засобах. У сучасній нормативній практиці для косметичних продуктів стандартизація сорбату калію здійснюється через технічні умови виробника, сертифікати якості, а також вимоги техрегламентів косметичної продукції, які визначають допустимі консервантні агенти та їх максимальні концентрації в готових продуктах.

Відсутність окремого ДСТУ на сорбат калію як косметичний інгредієнт компенсується вимогами до безпеки, що імплементовані у регуляторні документи, а також стандартами виробника сировини.

У косметології лавандова олія використовується як активний та ароматичний компонент у доглядових кремах, тоніках, сироватках, масажних засобах і дерматокосметичних продуктах. Крім того, відомий її седативний та релаксувальний ефект, що активно використовується в ароматерапевтичних продуктах, засобах для тіла та догляді за волоссям. З технологічної точки зору ефірна олія лаванди є високо функціональним інгредієнтом: вона сумісна з більшістю емульсійних систем, може бути введена на стадії охолодження та не вимагає спеціальних умов інкорпорації.

Стандартизація лавандової ефірної олії спирається передусім на міжнародні норми. Її якість регламентується стандартом ISO 3515:2002 «Essential oil of lavandin — Specifications» та ISO 8902:2009 «Oil of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.)» [27], у яких визначено граничні концентрації основних компонентів, показники щільності, оптичного обертання, індексу рефракції, кислотного числа та профіль домішок. В Україні використання ефірних олій у косметиці регулюється загальними вимогами технічного регламенту щодо безпечності косметичної продукції, а також технічними умовами постачальників, які відображають відповідність продукту міжнародним ISO-показникам.

Узагальнюючи, кожний розглянутий компонент — від базового розчинника до активних та функціональних добавок — має своє науково обґрунтоване місце у косметичних формулах і може бути стандартизований або підтверджений відповідністю нормативам. Використання дистильованої води згідно з ДСТУ ISO 3696:2003 забезпечує мінімізацію домішок у водній фазі; фармакопейні методики гарантують якість таких активів, як декспантенол; технічні умови постачальників упорядковують фізико-хімічні властивості лецитинів і консервантів; а ДСТУ 4621:2006 є орієнтиром у оцінці первинної якості молочної кислоти, що також важливо для безпеки та ефективності косметичних продуктів.

2.2 Методи екстракції та оптимізація параметрів процесу

У процесі вилучення біоактивних речовин із рослинної сировини надзвичайно важливу роль відіграє правильний вибір методу екстракції, оскільки саме від нього залежить вихід цільових компонентів, ступінь їх збереження та ефективність подальшого застосування в косметичних формулах. У даному дослідженні було проаналізовано та апробовано три види класичної мацерації (таблиця 2.2), адаптованих до умов обробки агропромислових відходів рослинного походження.

Класичні методи екстракції, зокрема мацерація та настоювання у водно-етанольних сумішах, продовжують використовуватись як базові через простоту реалізації, відносну безпечність та збереження основної частини термочутливих сполук. Однак вони мають суттєві недоліки — довготривалість процесу, обмежена дифузія діючих речовин у розчинник і необхідність великої кількості етанолу.

В межах сучасного екологічного підходу пріоритет надається оптимізованим екстракційним методам, які дозволяють зменшити витрати ресурсів і підвищити ефективність вилучення.

Таблиця 2.1 — Особливості процесу та стандартні параметри різних типів мацерації

Тип мацерації	Особливості процесу	Стандартні параметри, (розчинник 70 % етанол)		
		Температура, °C	Час, год	Співвідношення відходи:розчинник
Класична мацерація [28]	Витримування подрібненої сировини при кімнатній температурі без активного втручання. Екстракція відбувається за рахунок дифузії та осмотичних процесів	Від 22 до 24	24	1:10
Мацерація температурним впливом [29]	Проводиться при підвищеній температурі, що прискорює дифузію та збільшує розчинність біоактивних сполук.	45	4	1:10
Мацерація з механічним впливом [30]	Використовується механічне перемішування, що зменшує товщину дифузійного шару та пришвидшує масоперенесення	45	4	1:10

Під час оптимізації обраного типу мацерації було розглянуто основні параметри від яких залежить вихід біоактивних сполук, а саме температура, час, співвідношення відходи:розчинник та тип екстрагенту.

Температура - ключовий фактор в екстракції біоактивних сполук: підвищення температури збільшує розчинність та швидкість дифузії, покращуючи вихід екстракту, але надмірне нагрівання може спричинити руйнування термочутливих

речовин та змінити селективність, тому важливо знайти оптимальний баланс для конкретної сполуки та сировини, використовуючи як гарячу, так холодну екстракцію, залежно від цілі. У межах оптимізації процесу екстракції було проаналізовано вплив температури екстракції для збереження максимального виходу біоактивних сполук, використано три температурні режими (30, 45, 65 °C). Дослідження температурних режимів має на меті встановити баланс між інтенсифікацією процесів дифузії та збереженням цілісності термочутливих сполук. Температура 30 °C служить контрольною точкою для найбільш чутливих компонентів, запобігаючи їхній деградації. Нагрівання до 45 °C забезпечує оптимальне зниження в'язкості розчинника та прискорює вивільнення активних інгредієнтів без критичних теплових ефектів. Використання верхньої межі 65 °C дозволяє визначити критичну точку, за якою споживання енергії та швидкість екстракції можуть бути обмежені руйнуванням біологічно активних структур або денатурацією білків. Ці елементи дозволяють розробити математичну модель взаємозв'язку між виходом продукту та споживанням енергії, а також вибрати найбільш економічно ефективний та ефективний метод виробництва.

Час критично впливає на екстракцію біоактивних сполук: занадто короткий час зменшує вихід, а надто довгий може призвести до деградації термочутливих компонентів, хоча для повного вилучення необхідна достатня тривалість для проникнення розчинника крізь клітинні стінки, що залежить від методу та властивостей сировини. Оптимальний час забезпечує максимальний вихід з мінімальними втратами якості, тому особливої уваги потребував підбір тривалості екстрагування, необхідно визначити за який максимально короткий проміжок часу ми отримаємо бажану концентрацію біоактивних сполук. Досліджувався вплив протягом 30, 60, 120, 240 хв.

Співвідношення відходи:розчинник має вагомий вплив на ефективність екстракції біоактивних сполук, впливаючи на швидкість масоперенесення, ступінь розчинення та насичення розчинника. Для досягнення максимальної ефективності та економічної доцільності необхідно експериментально визначити оптимальне

співвідношення розчинник:речовина для конкретного типу сировини та цільових біоактивних сполук, оскільки універсального значення не існує. Досліджувався вплив співвідношення кількості відходів до кількості розчинника, було обрано співвідношення 1:10, 1:20, та 1:40.

Тип екстрагенту, зокрема концентрація етанолу, суттєво впливає на ефективність екстракції, оскільки визначає полярність розчинника, а отже, і спектр біоактивних сполук, які він може розчинити. У фінальному етапі оптимізації порівнювався вплив типу екстрагенту: дистильована вода (0), 50, 70, 96 % етанол.

2.3 Методики визначення хімічного складу та оцінка активності

Визначення хімічного складу біоактивних екстрактів є критично важливою складовою технологічного процесу, оскільки дозволяє не лише підтвердити наявність цільових сполук, але й стандартизувати продукцію для подальшого використання в косметичних засобах.

При дослідженні важливо враховувати кількісні показники виходу сухого залишку для визначення ефективності досліджуваних методів. Для цього частину зразків отриманих екстрактів, після випарювання піддаємо висушуванню в сушильній шафі при температурі 40°C до постійної маси, охолоджуємо в ексикаторі та зважуємо.

Розрахунок проводимо у % від маси, за формулою:

$$w = \frac{m_2 - m_0}{m_1}, \quad (2.1)$$

де m_2 — маса чашки з сухим залишком, г;

m_0 — маса порожньої чашки, г;

m_1 — маса зразка, г

Цільовий компонентом досліджуваних екстрактів є поліфенольні сполуки, тому насамперед здійснюється якісна оцінка загального вмісту поліфенольних сполук.

Для оптимізації процесу важливо слідкувати до кількісними показниками вмісту фенолів. Метод Фоліна-Чокальтеу є стандартним, широко визнаним спектрофотометричним методом для кількісного визначення загального вмісту фенольних сполук у різних матрицях: рослинних екстрактах, продуктах харчування, напоях та біологічних рідинах [31]. Послідовність проведення тестування за методикою Фоліна-Чокальтеу, на початкових етапах, включає в себе добування екстрактів з досліджуваної сировини, за допомогою мацерації з різними параметрами впливу та побудову калібрувальної кривої за допомогою серії стандартних розчинів пірогалолу. Для проведення реакції у пробірку наливаємо 1 мл зразка досліджуваного екстракту або стандартного розчину пірогалолу та додаємо 2,5 мл розведеного реагенту Фоліна-Чокальтеу з концентрацією 10%. Суміш перемішуємо протягом 3 хвилин, після чого додаємо 2 мл розчину карбонату натрію з концентрацією 7,5%, для створення лужного середовища. Вміст пробірки перемішуємо і залишаємо для інкубації при кімнатній температурі на 2 години, щоб утворився стабільний синій комплекс.

Після завершення процесу інкубації визначаємо оптичну щільність при 760 нм за допомогою спектрофотометра ULAB 102 UV (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 — Основні технічні характеристики спектрофотометра марки ULAB 102 UV

Параметр	Характеристика [32]
Діапазон вимірюваних довжин хвиль	200–1000 нм
Спектральна ширина щілини	$4 \pm 0,8$ нм
Оптична система	однопроменева, решітка 1200 mm
Детектор	кремнієвий фотодіод

Продовження таблиці 2.2

Параметр	Характеристика [32]
Джерело світла	галогенна та дейтерієва лампи
Кюветотримач	стандартний, 100 мм

Кінець таблиці 2.2

Перед початком роботи вмикаємо та прогріємо пристрій протягом 20 хв, для забезпечення стабільності й інтенсивності світлового потоку.

Для забезпечення точності результатів та уникнення засмічень проводимо перевірку чистоти кювет та тримача. Для кожного аналізу встановлюємо довжину хвилі 760 нм та проводимо нульове калібрування приладу за допомогою кювети з дистильованою водою.

Після завершення інкубації кювету з дослідним зразком встановлюємо у тримач спектрофотометра, необхідно переконатись, що світловий промінь проходить через прозору частину кювети без бульбашок та осаду. Фіксуємо значення оптичної щільності, що висвітлюються на дисплеї. Для підвищення точності кожного вимірювання виконувалось по три повтори аналізу для кожного з досліджуваних зразків.

Оптичну щільність зразків відображаємо на калібрувальну криву для визначення концентрації фенольних сполук у мг/мл.

Загальний вміст фенольних сполук на одиницю маси сухої речовини розраховуємо за формулою:

$$x = \frac{A \cdot m_{\text{ст}} \cdot 5}{A_{\text{ст}} \cdot m_{\text{н}}}, \quad (2.2)$$

де A — оптична густина випробуваного розчину

$m_{\text{ст}}$ — маса наважки стандартного зразка пірогалолу, г

$A_{\text{ст}}$ — оптична густина розчину стандартного зразка пірогалолу

$m_{\text{н}}$ — маса наважки досліджуваного екстракту, г

Для повної характеристики хімічного складу отриманих екстрактів проводиться визначення вітаміну С за допомогою класичного йодометричного методу [33]. Вітамін С окислюється йодом в кислому середовищі, а надлишок йоду виявляється за допомогою індикатора – крохмалю, який утворює стійке синьо- фіолетове забарвлення. Цей метод дозволяє визначити концентрацію вітаміну С, оскільки кількість йоду, що пішла на його окислення, пропорційна його вмісту, що визначається за об'ємом йоду до появи синього кольору.

Для титрування готуємо 0,01 М розчин йоду у кислому середовищі з додаванням 1 мл 1М НСІ на 100 мл розчину. В якості індикатора застосовуємо 1-2 краплі свіжоприготованого 1% розчину крохмалю, який виступає як індикатор. У титрувальну колбу наливаємо 1 мл досліджуваного екстракту та доводимо дистильованою водою до об'єму 10 мл та додаємо 1 мл кислого середовища, після перемішування додаємо 1-2 краплі крохмалю. Титрування проводимо стандартним методом, додаючи розчин йоду по краплі до появи стійкого синього забарвлення, яке не зникає протягом 30 секунд. Кількість використаного титрувального розчину записуємо у мілілітрах.

Концентрацію аскорбінової кислоти в екстракті визначаємо за формулою:

$$C = \frac{V_{I_2} \cdot C_{I_2} \cdot M_C \cdot 100}{V_{\text{зразка}}}, \quad (2.3)$$

де V_{I_2} — об'єм титрувального розчину йоду, витрачений на титрування, мл

C_{I_2} — концентрація йоду, моль/л

M_C — молекулярна маса аскорбінової кислоти, 176,12 г/ моль

Вміст органічних кислот визначається за допомогою алкаліметричного титрування [34, 35]. Метод зводиться до кислотно-основної нейтралізації, де слабкі органічні кислоти титруються сильнішою основою (NaOH) у відповідних

розчинниках та з підходящими індикаторами (фенолфталеїн), причому використовують різні підходи, в даному випадку було використано пряме титрування.

У чисту титрувальну колбу наливаємо 1 мл екстракту та доводимо дистильованою водою до об'єму 10 мл. Додаємо 1-2 краплі розчину фенолфталеїну та титруємо стандартним 0,1 М розчином NaOH до появи стійкого рожевого забарвлення, що зберігається протягом 30 секунд.

Об'єм використаного лужного розчину V_{NaOH} записуємо у мілілітрах.

Концентрацію яблучної кислоти у 1 мл екстракту визначаємо за формулою:

$$C = \frac{V_{\text{NaOH}} \cdot C_{\text{NaOH}} \cdot M \cdot 1000}{n \cdot V_{\text{зразка}}}, \quad (2.4)$$

де V_{NaOH} — об'єм використаного розчину NaOH, мл,

C_{NaOH} — концентрація розчину NaOH, моль/л

M — молекулярна маса яблучної кислоти, 134,09 г/моль

n — стехіометричний коефіцієнт реакції з NaOH, 2

$V_{\text{зразка}}$ — об'єм екстракту, 1мл

2.4 Методика створення косметичної сироватки на основі екстрактів

Ураховуючи, що екстракти, отримані з агропромислових відходів, містять комплекс біоактивних водорозчинних та поліфенольних біоактивних сполук, розробку косметичної сироватки доцільно починати саме з фази формулювання, коли обирають тип основи (бази) продукту. Вибір бази обумовлюється полярністю діючих компонентів: для поліфенолів та інших водорозчинних активних речовин оптимальною є водна основа, тоді як для неполярних або ліпофільних компонентів краще підходять олійні чи гель-олійні бази.

У типових рецептурах сироватки водної основи як базові компоненти використовують очищену воду та гліцерин як зволожувач-гумектант. Водні сироватки зазвичай використовують у засобах зволоження, антиоксидантного захисту чи освітлення шкіри, де мають значення такі параметри, як рН, проникність та реологічні властивості структури бази.

Активні екстракти додаємо у базу на етапі формулювання: у випадку водної сироватки — після приготування основи з додавання допоміжних компонентів, при температурі близько 30 °С (щоб уникнути термічної деградації активів), ретельно змішуючи для рівномірного розподілу; концентрація екстракту може варіюватися залежно від його активності та типу — як правило, від 1% до 5 % від маси сироватки для поліфенольних екстрактів.

Після змішування компонентів обов'язково контролюємо показники рН (зазвичай орієнтир — рН 5,0–5,5; наближений до рН здорової шкіри) для забезпечення сумісності сироватки з шкірним бар'єром та мінімізації ризику подразнень або дисбалансу мікробіому шкіри. Це важливий етап, оскільки неправильний рН може змінити стабільність активів чи їхню біодоступність.

При формулюванні слід передбачити також консервацію, особливо якщо екстракт отриманий з рослинної сировини, є ризик мікробіального росту. Тому додаємо м'які консерванти. При цьому важливо перевіряти, щоб консерванти не змінювали аромат чи колір.

Після підготовки бази із внесеними екстрактами та консервантами продукт піддається гомогенізації не для диспергування жирової фази (як в емульсіях), а для рівномірного розподілу зволожувачів та активних речовин, а також для усунення агломератів і бульбашок повітря. Гомогенізація здійснювалась при допомозі магнітного перемішування протягом 15 хвилин з потужністю 1200 об/хв.

Кінцевий етап — упаковка та маркування згідно зі стандартами пакування косметичної продукції. Рекомендується використовувати темну скляну або непрозору пластмасову тару, щоб зменшити вплив світла на чутливі компоненти,

та позначати термін придатності, умови зберігання — прохолода, захист від прямих сонячних променів.

Після виготовлення важливим є лабораторне тестування готової сироватки, що включає в себе оцінку органолептичних властивостей (зовнішній вигляд, аромат, текстура, відчуття після нанесення) та перевірку шкірної переносимості, досліджується термін придатності та збереження якості продукту протягом зберігання. На фінальному етапі проводяться клічні випробування групою добровольців. Таким чином, створення косметичної сироватки на основі біоактивних екстрактів із залишків агропереробки — це багатокomпонентний процес, що включає ретельне дослідження властивостей кожного інгредієнта, оптимізацію рецептури з точки зору ефективності, стабільності та безпечності, а також тестування готового продукту в реальних умовах зберігання та використання.

Цей підхід відповідає принципам екологічної та функціональної косметології, забезпечує раціональне використання вторинної сировини та сприяє створенню конкурентоспроможних засобів на ринку органічної доглядової продукції.

2.5 Методи випробування косметичного продукту

Після створення косметичної сироватки на основі екстрактів із агропромислових відходів важливим етапом стає її комплексне тестування для підтвердження безпечності, стабільності та заявлених функціональних властивостей. До основних параметрів перевірки входять: оцінка органолептичних властивостей, перевірка шкірної переносимості, термін придатності та збереження якості продукту протягом зберігання, клічні випробування групою добровольців.

Передусім, обов'язково здійснюється перевірка шкірної переносимості і одним із найбільш репрезентативних методів для цього є patch-тест (аплікаційний тест) [36].

Під час такого тестування на обмежену ділянку шкіри передпліччя наносилась невелика кількість продукту під оклюзійну пов'язку і залишена на 24 години, після чого шкіра була оцінена щодо ознак почервоніння, свербіжжю, набряку або інших реакцій подразнення чи алергії як через 30 хв, так і через 24 год після зняття пов'язки. Підхід використовується як стандартний критерій оцінки потенціалу подразнення та чутливості шкіри до косметичних засобів і дозволяє виявити як негайні, так і відкладені реакції контактної гіперчутливості, пов'язані з компонентами формули, зокрема ароматизаторами або консервантами, що найчастіше викликають таку реакцію.

Оцінка органолептичних властивостей, що включає зовнішній вигляд, аромат, текстура, відчуття після нанесення є обов'язковою. При оцінці використовувались шкали оцінки від 1 до 5, які фіксують органолептичні властивості та враження від використання продукту: легкість нанесення, швидкість поглинання, липкість, блиск, приємність текстури, аромат

Щоб визначити термін придатності та збереження якості продукту протягом зберігання, проводяться випробування фізико-хімічної стабільності. Косметичний засіб піддається впливу різних температур та освітлення, а також проводиться зберігання протягом 30 днів з періодичною перевіркою основних параметрів: колір, запах, рН, консистенція, гомогенність, випадання осаду.

Клінічні випробування проводяться на групі добровольців з 10 людей, з чітко прописаними протоколами. У процесі оцінюються такі параметри, як зволоженість шкіри, відчуття м'якості та гладкості після застосування, зменшення почервоніння, відсутність подразнення або алергічної реакції. Після завершення всіх випробувань складається протокол, в якому фіксуються результати кожного тесту. У разі позитивної оцінки косметичний засіб може бути рекомендований для малосерійного або промислового виробництва, подальшої сертифікації та виведення на ринок.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСТРАКЦІЇ БІОАКТИВНИХ РЕЧОВИН

3.1 Вибір оптимального способу екстракції для обраної сировини

У рамках дослідження було обрано агропромислові відходи виробництва з переробки фруктів, а саме яблучна шкірка, як потенційне джерело біоактивних речовин.

З метою визначення оптимального способу екстракції сировину було висушено при температурі 40 °С до постійної маси, подрібнено до фракції <1 мм та розділено на проби по 3 г. Порівнювалися три методи екстракції: класична мацерація при кімнатній температурі, мацерація підвищеної температури, а також мацерація з механічним впливом із використанням однакового екстрагенту. Обрані параметри екстрагування наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 — Параметри екстрагування агропромислових відходів методами мацерації

Тип мацерації	Параметри процесу			
	Температура, °С	Час, год	Співвідношення відходи:розчинник	Механічний вплив
Класична мацерація	22	24	1:10	відсутній
Мацерація з температурним впливом	45	4	1:10	відсутній
Мацерація з механічним впливом	45	4	1:10	Магнітна мішалка 150 об/хв

Після завершення процесів вилучення, екстракти фільтрували та упарювали.

Усі зразки піддавалися оцінці виходу екстракту (мг/г сухої сировини) та кількісному визначенню поліфенолів за допомогою реакції Фоліна-Чокальтеу.

Дослідження показали, що вихід екстракту мг/г сухої сировини при екстракції з підвищеною температурою та механічним впливом, мають суттєво більший за вихід при класичній мацерації. Результати прорахунку виходу екстракту мг/г за формулою 2.1 наведені у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 — Порівняння виходу екстракту при різних типах мацерації

Тип мацерації	Вихід екстракту, мг/г сухої сировини
Класична мацерація	202
Мацерація з температурним впливом	335
Мацерація з механічним впливом	263

Найвищі показники виходу показав метод мацерації з температурним впливом, найменшим він був у методі класичної мацерації, вихід продукту становив лише 31,4 % від виходу при підвищеній температурі.

Для кількісної оцінки загального вмісту поліфенольних сполук було проведено реакцію Фоліна-Чокальтеу та дослідження отриманих сумішей за допомогою спектрофотометричного аналізу. Розрахунок проводився за допомогою проєкції оптичної густини зразків на калібрувальну криву та прорахунку за формулою 2.2 (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 — Вміст поліфенолів у екстрактах добутих різними типами мацерації

Тип мацерації	Вміст поліфенолів, мг/мл
Класична мацерація	48,5
Мацерація з температурним	133,1
Мацерація з механічним впливом	102,6

Порівнявши вихід поліфенолів під час проведення тестування, були зроблені висновки, що мацерація з температурним впливом демонструє найбільший вміст фенольних сполук, тому що нагрівання руйнує структурні зв'язки всередині рослинної матриці та підвищує проникність мембран, знижує в'язкість розчинника та збільшує кінетичну енергію молекул.

При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вихід поліфенолі складає: при класичній мацерації 24 %, при температурному впливі 39,7 % та механічному впливі 39,1 %

При проведенні аналізу вмісту вітаміну С, за допомогою йодометричного титрування та обробці результатів за формулою 2.3 (таблиця 3.4), виявлено, що екстракти отримані методами з температурним та механічним впливом, містять високі обсяги виходу аскорбінової кислоти, а класична мацерація значно поступається за показниками кількісно

Таблиця 3.4 — Вміст вітаміну С у екстрактах добутих різними типами мацерації

Тип мацерації	Вміст вітаміну С, мг/мл
Класична мацерація	4,6
Мацерація з температурним	12,8
Мацерація з механічним впливом	9,1

При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вихід вітаміну С складає: при класичній мацерації 2,3 %, при температурному впливі 3,8 % та механічному впливі 3,5 %.

Дослідження вмісту яблучної кислоти проводилось за методикою алкаліметричного титрування та перерахунку за формулою 2.4 (таблиця 3.5).

При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст яблучної кислоти складає: при класичній мацерації 12,9 %, при температурному впливі 24,5 % та механічному впливі 23,3 %

Таблиця 3.5 — Вміст яблучної кислоти у екстрактах добутих різними типами мацерації

Тип мацерації	Вміст яблучної кислоти, мг/мл
Класична мацерація	26,0
Мацерація з температурним	82,4
Мацерація з механічним впливом	61,2

При аналізі вилучення цієї сполуки найвищий вихід спостерігався при температурному впливі, класична мацерація вкотре займає останню позицію.

Зіставивши результати виходу екстрактів, концентрацію поліфенолів, вітаміну С та яблучної кислоти, було визначено, що екстракція з підвищеними температурами має найбільший потенціал та ефективність при екстрагуванні біоактивних сполук з яблучної шкірки. Саме тому цей метод було обрано для подальшої оптимізації параметрів. Класична мацерація показувала найнижчі показники протягом всіх етапів досліджень це свідчить про те, що класична мацерація є недоцільним методом для вилучення біоактивних сполук з яблучної шкірки. Мацерація за кімнатної температури не забезпечує повноцінного масообміну, що призводить до нерівномірності складу екстракту та низького виходу цільових сполук.

3.2 Дослідження параметрів екстрагування

У межах дослідження було проведено вивчення впливу основних параметрів екстрагування — температури, часу, співвідношення відходи:розчинник та типу екстрагенту — на ефективність вилучення біоактивних речовин зі шкірки яблук. Екстракція здійснювалася методом мацерації з температурним впливом. Кількість сировини в кожному зразку становила 3 г (попередньо висушеної до постійної маси при 40 °С і подрібненої до розміру частинок 0,5–1 мм).

Після кожної серії експериментів, присвяченої певним параметрам, було проведене кількісне визначення вмісту поліфенолів методом Фоліна–Чокальтеу, вітаміну С методом йодометричного титрування та яблучної кислоти методом алкаліметричного титрування з перерахунком в мг/мл екстракту за формулами 2.1 — 2.4.

3.2.1 Вплив температури

Для оцінки впливу температури екстракції було обрано три режими: 30°C, 45°C та 65°C. Екстрагент — 70% етанол, співвідношення відходи:розчинник — 1:10, час екстракції — 2 години. Вихід екстракту при температурі 30 °C — 214 мг, при 45 °C — 346 мг, при 65 °C — 308 мг.

Результати кількісного визначення сполук при різних температурних параметрах наведені у таблиці 3.6

Таблиця 3.6 — Кількісний вміст біоактивних сполук у 1 мл екстрактів добутих методом мацерації при різних температурах

Температура, °C	Вміст поліфенолів мг/мл	Вміст вітаміну С, мг/мл	Вміст яблучної кислоти, мг/мл
30	56,9	9,3	32,7
45	130,8	16,2	84,8
65	102,7	8,6	82,3

Результати аналізу вмісту поліфенолів, (таблиця 3.6), показують значний вплив температури екстракції на ефективність екстракції. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст поліфенолів складає: при 30 °C — 26,5 %, при 45 °C — 37,8 % та при 65 °C — 33,3 %.

При 30 °C вміст поліфенолів в екстракті становив 56,9 мг/мл, що свідчить про низький масообмін за помірних теплових умов. Підвищення температури до 45 °C призвело до збільшення вмісту поліфенолів до 130,8 мг/мл.

Це пояснюється більшою розчинністю фенольних сполук, зниженням в'язкості екстракційного розчинника та посиленням процесів дифузії. І навпаки, подальше підвищення температури екстракції до 65 °С призвело до зниження вмісту поліфенолів до 102,7 мг/мл. Зниження концентрації екстракту при температурах вище 45 °С зумовлене термічним розкладом та окислювальним перетворенням термолабільних фенольних сполук, а також можливим утворенням нерозчинних продуктів полімеризації, що перешкоджає їх переходу в рідку фазу.

Отримані дані вказують на оптимальний температурний діапазон, в межах якого гарантовано максимальний вихід поліфенолів без значної втрати біологічної активності. Залежність концентрації поліфенолів від температури зображено на рисунку 3.1

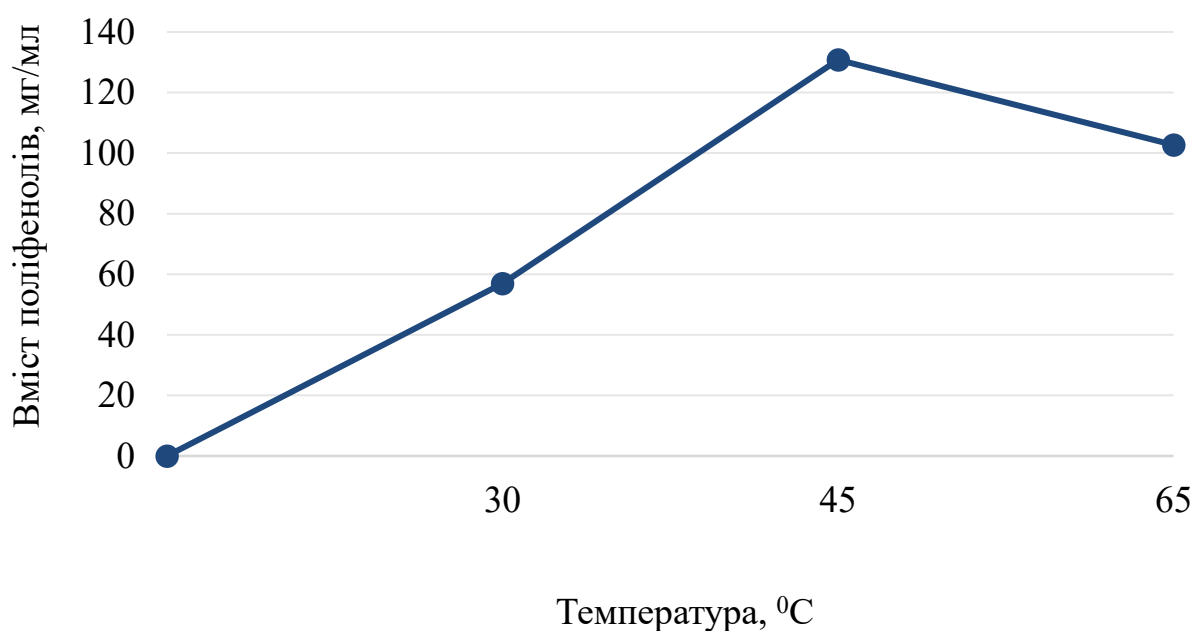


Рисунок 3.1 — Вміст поліфенолів у екстрактах добутих методом мацерації при різних температурах.

Результати дослідження вмісту вітаміну С, (таблиця 3.6), показали, що при 30 °С вміст становив 9,3 мг/мл, при 45 °С — 16,2 мг/мл, а при 65 °С — лише 8,6 мг/мл. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту

виявлено, що відсотковий вміст вітаміну С складає: при 30 °С — 4,3 %, при 45 °С — 4,7 % та при 65 °С — 2,8 %.

За температури екстракції вище 45 °С спостерігається значне зниження виходу вітаміну С через високу чутливість аскорбінової кислоти до тепла. Підвищена температура посилює процеси окислення та термічного розкладу цієї сполуки, що призводить до її деградації та зниження її концентрації в кінцевому екстракті. Тому температура вище 45 °С є критичною при екстракції для збереження аскорбінової кислоти. Залежність концентрації вітаміну С від температури зображено на рисунку 3.2

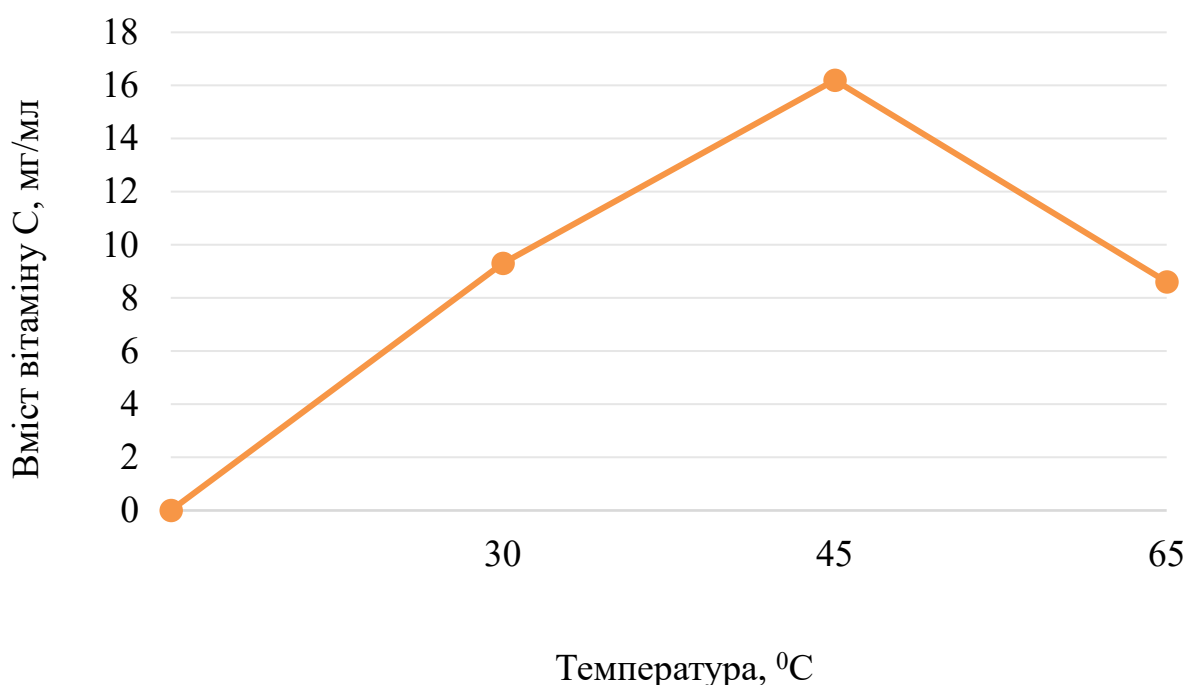


Рисунок 3.2 — Вміст вітаміну С у екстрактах добутих методом мацерації при різних температурах.

Результати дослідження вмісту яблучної кислоти, (таблиця 3.6), вказують на значний вплив температури екстракції на ефективність екстракції органічних кислот з рослинної сировини. При 30 °С вміст яблучної кислоти в екстракті становив 32,7 мг/мл, що свідчить про недостатній масообмін за цих низькотемпературних умов.

Підвищення температури екстракції до 45 °С призвело до значного збільшення вмісту яблучної кислоти до 84,8 мг/мл через збільшення розчинності, зниження в'язкості екстрагенту та покращення дифузії з клітинних структур сировини. Подальше підвищення температури до 65 °С призвело до незначного збільшення вмісту яблучної кислоти до 82,3 мг/мл. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст вітаміну С складає: при 30 °С — 15,3 %, при 45 °С — 24,5 % та при 65 °С — 26,7 %.

Відсутність суттєвої різниці між показниками при 45 °С та 65 °С свідчить про те, що досягнуто майже стаціонарного процесу екстракції, після якого подальше підвищення температури не призводить до суттєвого покращення виходу цільової сполуки. Залежність концентрації яблучної кислоти від температури зображено на рисунку 3.3

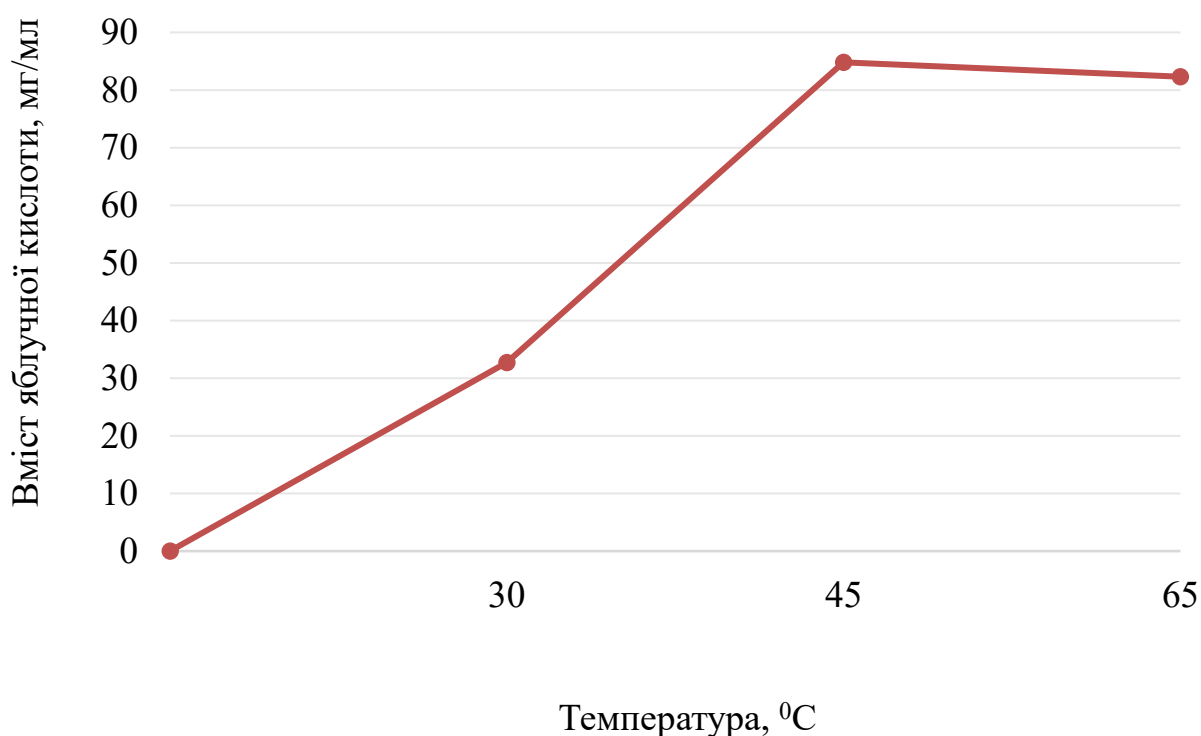


Рисунок 3.3 — Вміст яблучної кислоти у екстрактах добутих методом мацерації при різних температурах.

Порівняння виходу біоактивних сполук за різних температур екстракції показало, що підвищення температури від 30 до 45 °С призвело до значного збільшення концентрації сполук. Подальше підвищення температури до 65 °С викликало лише незначне збільшення, що свідчить про досягнення максимального рівня екстракції. Тому температура 45 °С є оптимальною для цього методу.

3.2.2 Вплив часу

У наступному етапі досліджувався вплив часу екстракції. Для цього екстракцію проводили протягом 30, 60, 120 та 240 хвилин. Екстрагент — 70% етанол, співвідношення відходи:розчинник — 1:10, температура — 45°С

Вихід екстракту при тривалості 30 хв — 190 мг, при 60 хв — 280 мг, при 120хв — 312 мг та при 240 хв — 260 мг. Для дослідження вмісту цільових сполук використовувались рівні об'єми екстракту

Результати кількісного визначення сполук при різному часі екстрагування наведені у таблиці 3.7

Таблиця 3.7 — Кількісний вміст біоактивних сполук у екстрактах добутих методом мацерації з різним часом екстрагування

Час, хв	Вміст поліфенолів, мг/мл	Вміст вітаміну С, мг/мл	Вміст яблучної кислоти, мг/мл
30	46,2	6,2	46,5
60	106,2	13,0	69,7
120	128,6	14,1	84,8
240	103,2	9,4	85,1

Результати дослідження, (таблиця 3.7) показують, що час екстракції суттєво впливає на вихід поліфенолів. При порівнянні отриманих значень

відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст поліфенолів складає: при 30 хв — 24,3 %, при 60 хв — 37,9 %, при 120 хв — 41,2 % та при 240 хв — 39,7 %. Після 30 хв екстракції вміст поліфенолів становив 46,2 мг/мл. Збільшення часу екстракції до 60 хв призвело до збільшення до 106,2 мг/мл, що свідчить про інтенсифікований процес екстракції. Максимальний вихід поліфенолів 128,6 мг/мл був досягнутий за часу екстракції 120 хв. Подальше збільшення до 240 хв призвело до зниження вмісту поліфенолів до 103,2 мг/мл, ймовірно, через окислювальні процеси або часткову деградацію біоактивних сполук. Таким чином, оптимальний час екстракції для поліфенолів становить 120 хв, що забезпечує максимальний вихід цільових компонентів. Залежність концентрації поліфенолів від температури зображено на рисунку 3.4

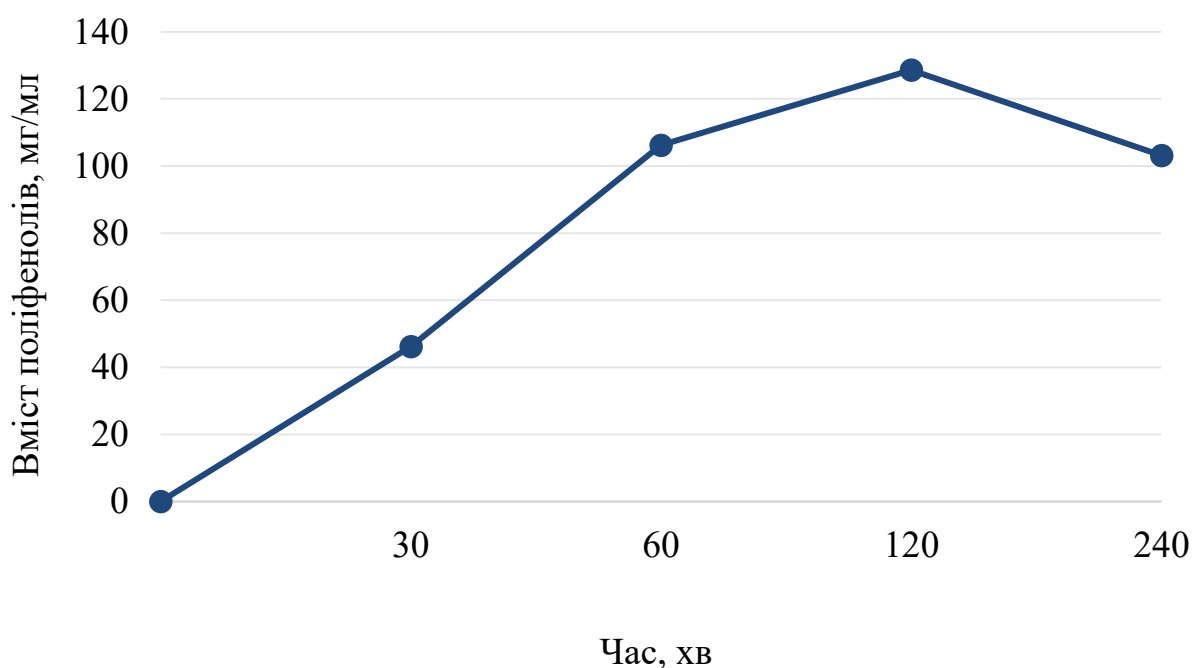


Рисунок 3.4 — Вміст поліфенолів у екстрактах добутих методом мацерації з різним часом впливу.

Результати аналізу вмісту вітаміну С, (таблиця 3.7), показують сильну залежність концентрації від часу екстракції. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст вітаміну С складає:

при 30 хв — 3,3 %, при 60 хв — 4,6 %, при 120 хв — 4,5 % та при 240 хв — 3,6 %.

Після часу екстракції 30 хв концентрація аскорбінової кислоти становила 6,2 мг/мл, що, ймовірно, пов'язано з неповною екстракцією біологічно активних речовин на початку процесу екстракції. Збільшення часу екстракції до 60 хв призвело до значного збільшення концентрації вітаміну С до 13,0 мг/мл, що свідчить про досягнення максимальної ефективності масопереносу за цих умов. Подальше збільшення часу екстракції до 120 хв призвело до незначного підвищення концентрації вітаміну С до 14,1 мг/мл, що може бути пов'язано з початком окислення або часткового термічного розкладу аскорбінової кислоти. При максимальному часі екстракції 240 хв концентрація вітаміну С значно знизилася до 9,4 мг/мл, що свідчить про те, що процеси розкладу переважали процеси екстракції.

Отже, оптимальний час екстракції для підтримки та максимізації виходу вітаміну С за досліджуваних умов становить 60 хв, оскільки саме тоді досягається найвищий вміст аскорбінової кислоти в екстракті.

Залежність концентрації вітаміну С від температури зображено на рисунку 3.5

Залежність концентрації вітаміну С від температури зображено на рисунку 3.5

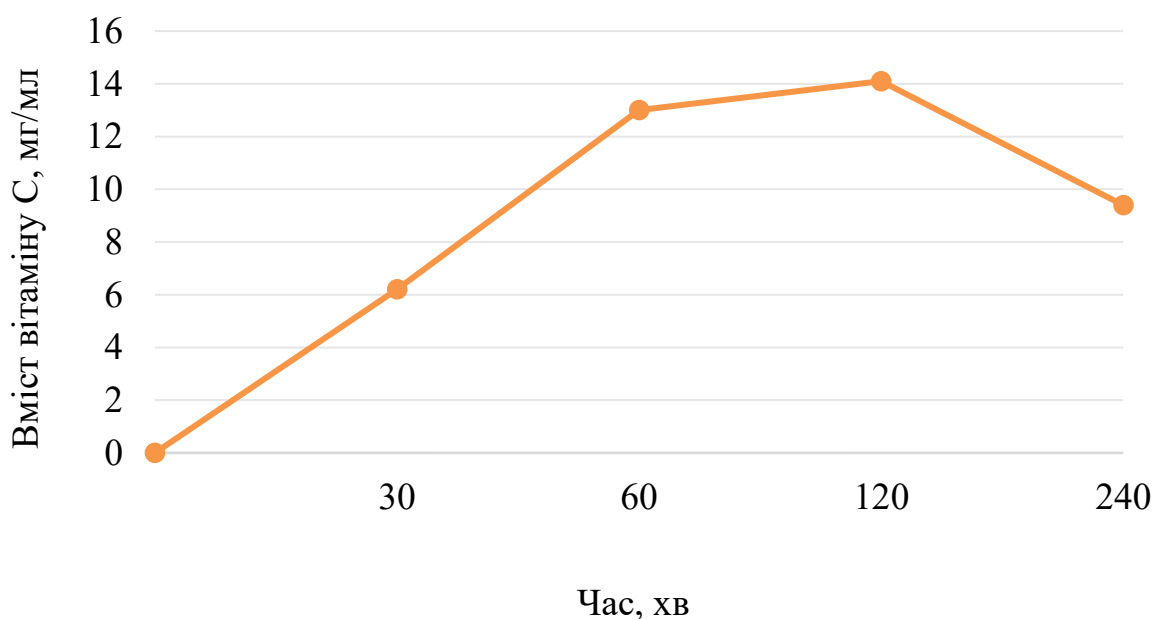


Рисунок 3.5 — Вміст вітаміну С у екстрактах добутих методом мацерації з

різним часом впливу.

Результати аналізу концентрації яблучної кислоти, (таблиця 3.7), показали чітку залежність концентрації від часу екстракції. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст яблучної кислоти складає: при 30 хв — 24,5 %, при 60 хв — 24,9 %, при 120 хв — 27,2 % та при 240 хв — 32,7 %.

Після 30 хв екстракції концентрація яблучної кислоти становила 46,5 мг/мл, що свідчить про неповну екстракцію органічної кислоти на початку процесу. Збільшення часу екстракції до 60 хв призвело до значного збільшення концентрації до 69,7 мг/мл, демонструючи посилені процеси дифузії та ефективніший масоперенос. Подальше збільшення часу екстракції до 120 хв призвело до менш вираженого збільшення концентрації яблучної кислоти 84,8 мг/мл, що свідчить про поступове наближення системи до рівноваги.

При максимальному часі екстракції 240 хв концентрація яблучної кислоти залишалася практично постійною на рівні 85,1 мг/мл, що підтверджує досягнення плато екстракції.

Тому збільшення часу екстракції понад 120 хв є неефективним, оскільки воно не призводить до суттєвого збільшення вмісту яблучної кислоти в екстракті.

Ретельний аналіз результатів дозволяє зробити висновок, що оптимальний час екстракції становить 120 хв для отримання екстракту з максимальним вмістом поліфенолів та яблучної кислоти при збереженні задовільного вмісту вітаміну С. Цей час забезпечує найбільш збалансоване співвідношення бажаних біоактивних сполук і є виправданим як технологічно, так і практично.

З практичної точки зору, оптимальний час екстракції становить 120 хв, оскільки це дозволяє отримати високий вихід яблучної кислоти без витрат часу та енергії. Залежність концентрації яблучної кислоти від температури зображено на рисунку 3.6

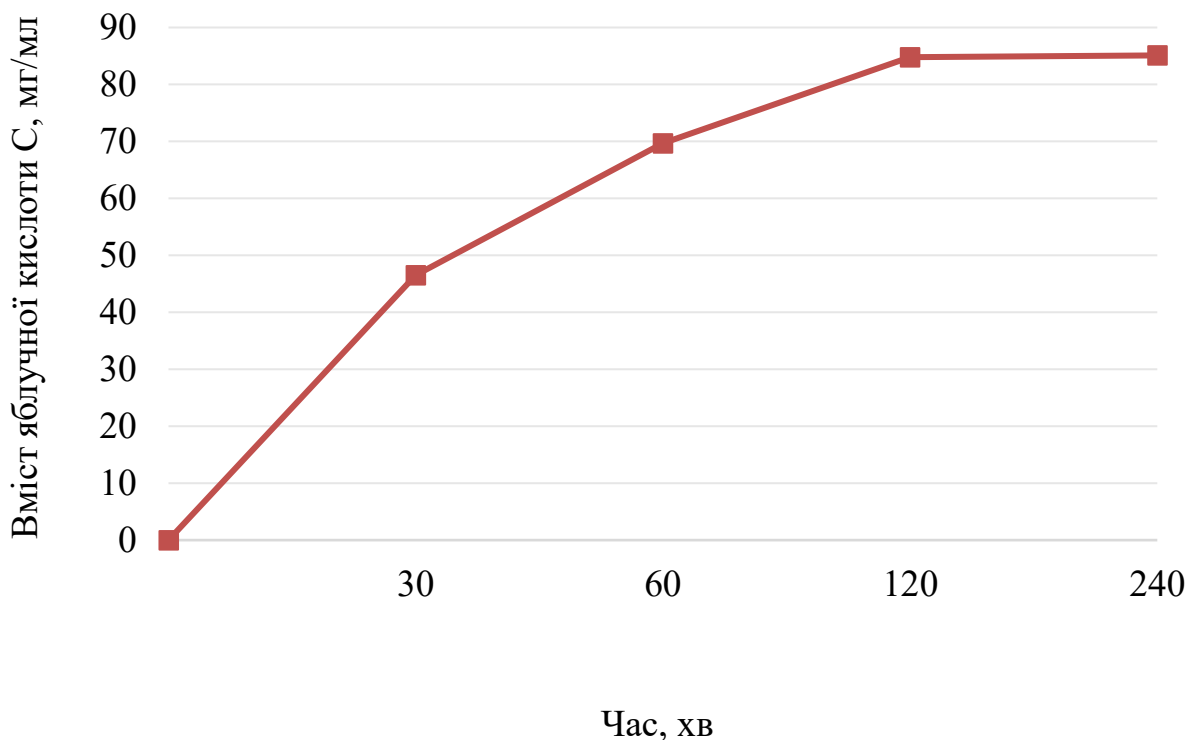


Рисунок 3.6 — Вміст яблучної кислоти у екстрактах добутих методом мацерації з різним часом впливу.

Ретельний аналіз результатів дозволяє зробити висновок, що оптимальний час екстракції становить 120 хв для отримання екстракту з максимальним вмістом поліфенолів та яблучної кислоти при збереженні задовільного вмісту вітаміну С. Цей час забезпечує найбільш збалансоване співвідношення бажаних біоактивних сполук і є виправданим як технологічно, так і практично.

3.2.3 Вплив співвідношення відходи:розчинник

Для дослідження впливу співвідношення відходи:розчинник були обрані три значення: 1:10, 1:20 та 1:40. Екстрагент — 70% етанол, Т — 120 хв, t — 45 °С. Вихід екстракту при співвідношенні 1:10 — 298 мг, при 1:20— 320 мг, при 1:40 — 362 мг. Результати кількісного визначення сполук при різних співвідношеннях відходи:розчинник та за допомогою різних методів наведені у таблиці 3.8

Таблиця 3.8 — Кількісний вміст біоактивних сполук у екстрактах добутих методом мацерації з різним співвідношенням відходи:розчинник

Співвідношення відходи:розчинник	Вміст поліфенолів, мг/мл	Вміст вітаміну С, мг/мл	Вміст яблучної кислоти, мг/мл
1:10	119,2	11,9	85,3
1:20	141,6	13,2	96,8
1:40	158,3	13,8	108,5

Результати аналізу вмісту поліфенолів, (таблиця 3.8), показують значний вплив співвідношення відходи:розчинник на ефективність екстракції. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст поліфенолів складає: при 1:10 — 40 %, при 1:20 — 44,3 %, при 1:40 — 43,7 %.

При співвідношенні 1:10 вихід поліфенолів становив 119,2 мг/мл. Це можна пояснити обмеженою кількістю екстракційного розчинника та швидким насиченням розчину, що призводить до зниження інтенсивності масопереносу.

Зі збільшенням співвідношення до 1:20 спостерігалось значне збільшення вмісту поліфенолів 141,6 мг/мл. Це свідчить про покращення процесів дифузії та формування більш сприятливого градієнта концентрації між твердою та рідкою фазами. Подальше збільшення співвідношення сировина/екстрактор до 1:40 призвело до максимального виходу поліфенолів 158,3 мг/мл і, отже, до найвищої ефективності екстракції за цих умов.

Таким чином, збільшення частки екстракційного розчинника сприяє інтенсифікації екстракції поліфенолів та збільшенню їх концентрації в екстракті. Однак, при виборі оптимального значення необхідно враховувати не лише максимальний вихід цільових сполук, а й технологічні та економічні аспекти, включаючи вартість екстракційного розчинника та подальшу необхідність його утилізації або концентрування екстракту. Залежність концентрації поліфенолів від співвідношення відходи:розчинник зображено на рисунку 3.7

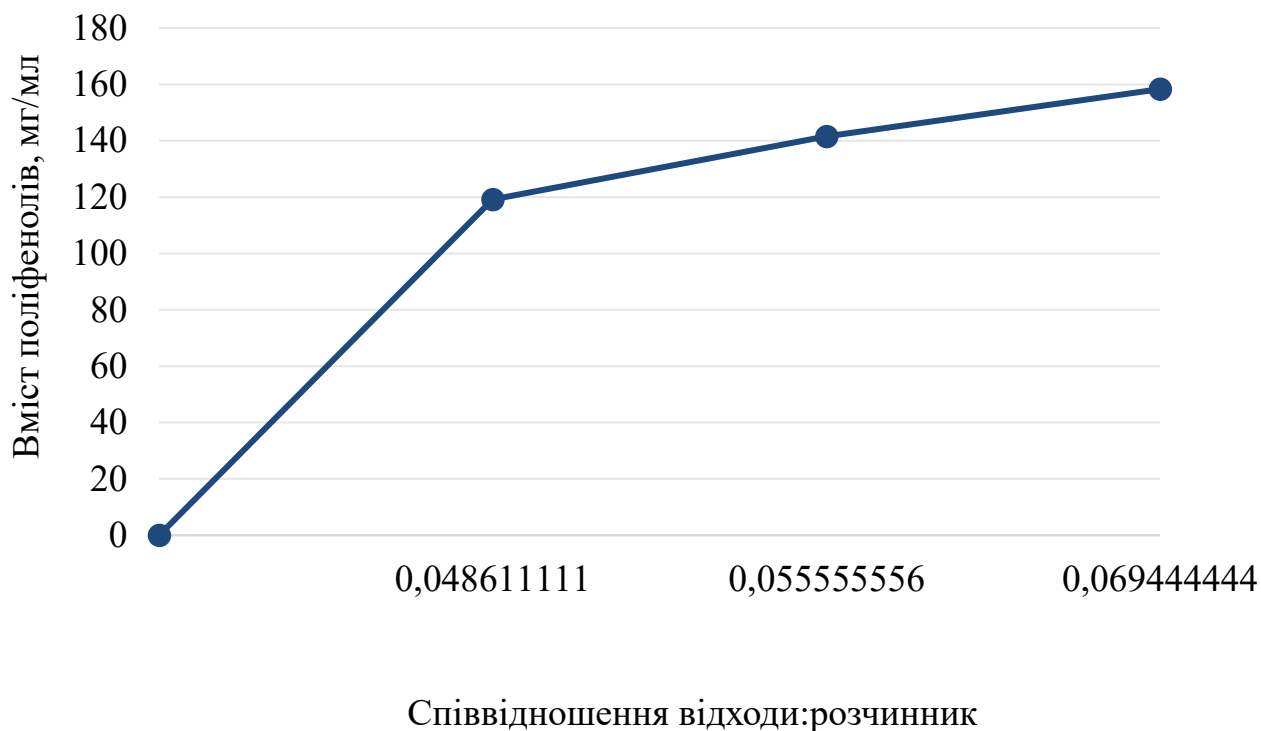


Рисунок 3.7 — Вміст поліфенолів у екстрактах добутих методом мацерації з різним співвідношенням відходи:розчинник.

Результати дослідження вмісту вітаміну С, (таблиця 3.8), показали, що його вихід залежить від співвідношення відходи:розчинник. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст аскорбінової кислоти складає: при 1:10 — 3,9 %, при 1:20 — 4 %, при 1:40 — 3,8 %.

При співвідношенні 1:10 концентрація аскорбінової кислоти в екстракті становила 11,9 мг/мл, що свідчить про обмежену ефективність екстракції через недостатню кількість екстрагенту та швидке насичення розчину. Збільшення співвідношення до 1:20 призвело до збільшення вмісту вітаміну С до 13,2 мг/мл, що свідчить про покращення масообміну та більш повне вилучення цієї термолабільної сполуки з рослинної сировини. Подальше збільшення кількості екстрагенту до співвідношення 1:40 призвело до незначного збільшення концентрації вітаміну С до 13,8 мг/мл, що свідчить про поступове наближення системи до рівноваги екстракції.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що збільшення співвідношення сировина/екстрагент сприяє вищому виходу вітаміну С, але ефект від цього збільшення зменшується при переході від 1:20 до 1:40.

З практичної точки зору, співвідношення 1:20 можна вважати раціональним, оскільки воно забезпечує високий вміст аскорбінової кислоти при меншій витраті екстрагенту, ніж співвідношення 1:40. Залежність концентрації вітаміну С від співвідношення відходи:розчинник зображено на рисунку 3.8



Рисунок 3.8 — Вміст вітаміну С у екстрактах добутих методом мацерації з різним співвідношенням відходи:розчинник

Результати аналізу вмісту яблучної кислоти, (таблиця 3.8), показують, що вихід залежить від співвідношення сировини та екстракційного розчинника. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст яблучної кислоти складає: при 1:10 — 28,6 %, при 1:20 — 30,3 %, при 1:40 — 29,9 %.

При співвідношенні 1:10 концентрація яблучної кислоти в екстракті становила 85,3 мг/мл., це свідчить про недостатню кількість екстракційного розчинника для

повної екстракції органічної кислоти та обмежені умови масообміну на початку процесу.

Збільшення співвідношення сировини та екстракційного розчинника до 1:20 призвело до збільшення концентрації яблучної кислоти до 96,8 мг/мл. Це свідчить про інтенсифікацію процесів дифузії та більш ефективну екстракцію цільової сполуки. Подальше збільшення кількості екстракційного розчинника до співвідношення 1:40 призвело до незначного збільшення концентрації яблучної кислоти до 108,5 мг/мл, що свідчить про те, що система поступово наближається до рівноваги екстракції.

Залежність концентрації яблучної кислоти від співвідношення відходи:розчинник зображено на рисунку 3.9

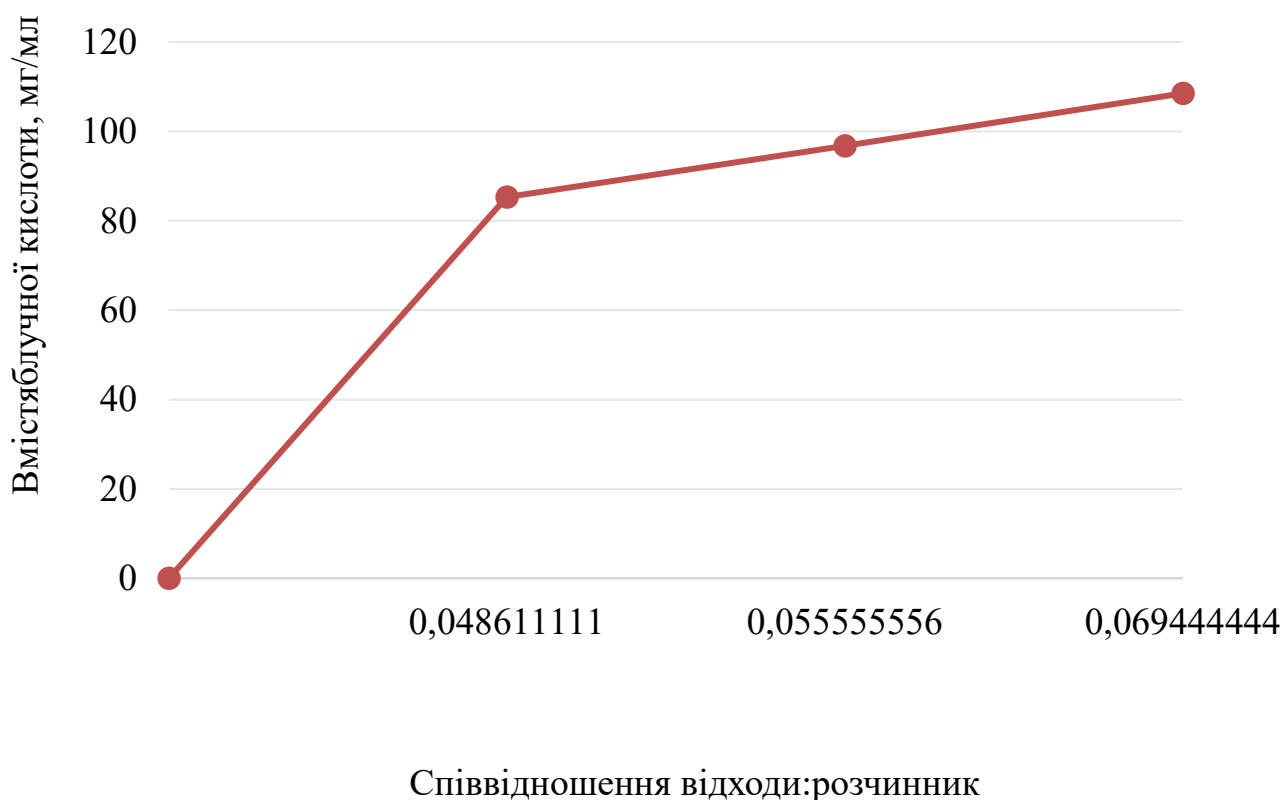


Рисунок 3.9 — Вміст яблучної кислоти у екстрактах добутих методом мацерації з різним співвідношенням відходи:розчинник.

Порівнявши графіки можемо зробити висновок що співвідношення 1:40 є найоптимальнішим, однак в останньому випадку екстракт мав надто низьку концентрацію сухих речовин, що потребувало значного часу на упарювання. З огляду на баланс ефективність/технологічна доцільність, найоптимальнішим визнано співвідношення 1:20.

3.2.4 Вплив типу екстрагенту

У фінальному етапі було порівняно вплив типу екстрагенту: дистильована вода (0% етанол), 50% етанол, 70% етанол, 96% етанол. Співвідношення відходи:розчинник — 1:20, час — 120 хв, температура — 45 °С.

Вихід екстракту при 0% — 148 мг, при 50% — 250 мг, при 70% — 310 мг та при 96% — 201 мг. Для дослідження вмісту цільових сполук використовувались рівні об'єми екстракту

Результати кількісного визначення сполук при різних температурних параметрах та за допомогою різних методів наведені у таблиці 3.9

Таблиця 3.9 — Кількісний вміст біоактивних сполук у екстрактах добутих методом мацерації з різним типом екстрагенту

Тип екстрагенту	Вміст поліфенолів, мг/ мл	Вміст вітаміну С, мг/мл	Вміст яблучної кислоти, мг/мл
Дистильована вода (0% етанол)	48,7	14,6	108,1
50 % етанол	102,0	13,2	102,4
70% етанол	138,6	12,8	98,8
96 % етанол	76,3	4,7	62,2

Результати аналізу вмісту поліфенолів, (таблиця 3.9), показують значний вплив концентрації екстракційного розчинника на ефективність екстракції. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що

відсотковий вміст поліфенолів складає: при 0 % — 32,9 %, при 50% — 40,8 %, при 70% — 44,7 % та при 96 % — 37,9%

При використанні води як екстракційного розчинника (0%) вміст поліфенолів становив лише 48,7 мг/мл. Це пов'язано з низькою розчинністю більшості поліфенолів у чисто водному середовищі. Збільшення концентрації екстракційного розчинника до 50% збільшило вихід поліфенолів більш ніж удвічі, досягнувши 102,0 мг/мл. Це свідчить про покращену розчинність у середовищі та посилений масообмін. Максимальний вміст поліфенолів, 138,6 мг/мл, було отримано при концентрації екстракційного розчинника 70% для екстракції гідрофільних та помірно гідрофобних фенолів.

Подальше збільшення концентрації екстракційного розчинника до 96% призвело до зниження вмісту поліфенолів до 76,3 мг/мл. Це пов'язано зі зниженою здатністю до набухання рослинної сировини та порушенням дифузії біоактивних сполук у надмірно концентрованому спиртовому середовищі.

Таким чином, результати показують, що оптимальна концентрація екстракційного розчинника для екстракції поліфенолів становить 70%, оскільки це дає максимальну кількість бажаних фенольних сполук. Залежність концентрації поліфенолів від типу екстрагенту зображено на рисунку 3.10

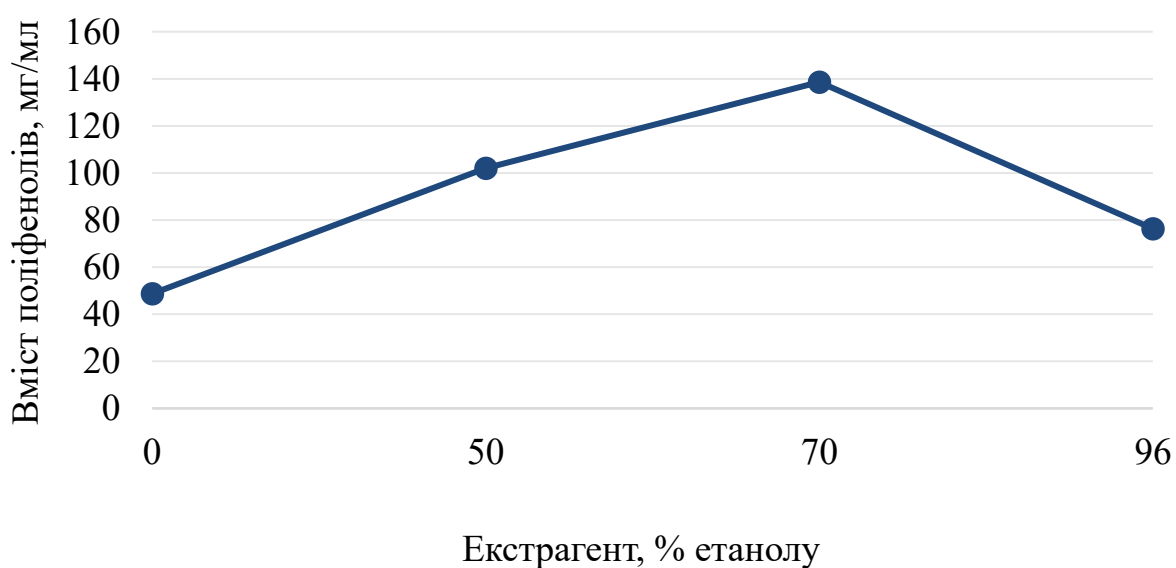


Рисунок 3.10 — Вміст поліфенолів у екстрактах добутих методом мацерації з різним типом екстрагенту.

Результати аналізу вмісту вітаміну С, (таблиця 3.9), показують значний вплив концентрації екстракційного розчинника на ефективність екстракції. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст поліфенолів складає: при 0 % — 9,8 %, при 50% — 5,3 %, при 70% — 4,1 % та при 96 % — 2,3%

При використанні води як екстракційного розчинника (0%) вміст аскорбінової кислоти становив 14,6 мг/мл. Це можна пояснити здатністю водного середовища для ефективного проникнення вітаміну С з рослинної матриці без співрозчинника. Збільшення концентрації екстракційного розчинника до 50% призвело до значного зменшення вмісту вітаміну С до 13,2 мг/мл, що свідчить про покращення умов масопереносу та ефективнішу екстракцію сполуки.

Вихід аскорбінової кислоти досягнутий при концентрації екстракційного розчинника 70% містить концентрацію 12,8 мг/мл. Свідчить про встановлення рівноваги в умовах розчинності та стабільності вітаміну С у середовищі зі змішаною полярністю.

Збільшення концентрації екстракційного розчинника до 96% призвело до суттєвого зниження вмісту вітаміну С до 4,7 мг/мл. Зниження може бути пов'язано зі зменшенням набухання рослинної сировини, зміною процесів дифузії та можливою не стабільністю аскорбінової кислоти у високоалкогольному середовищі.

Отже, результати свідчать про те, що оптимальна концентрація екстракційного розчинника для екстракції вітаміну С становить діапазон від 50 до 70%, оскільки ця концентрація забезпечує максимальний вихід аскорбінової кислоти та ефективність процесу.

Залежність концентрації вітаміну С від типу екстрагенту зображено на рисунку 3.11

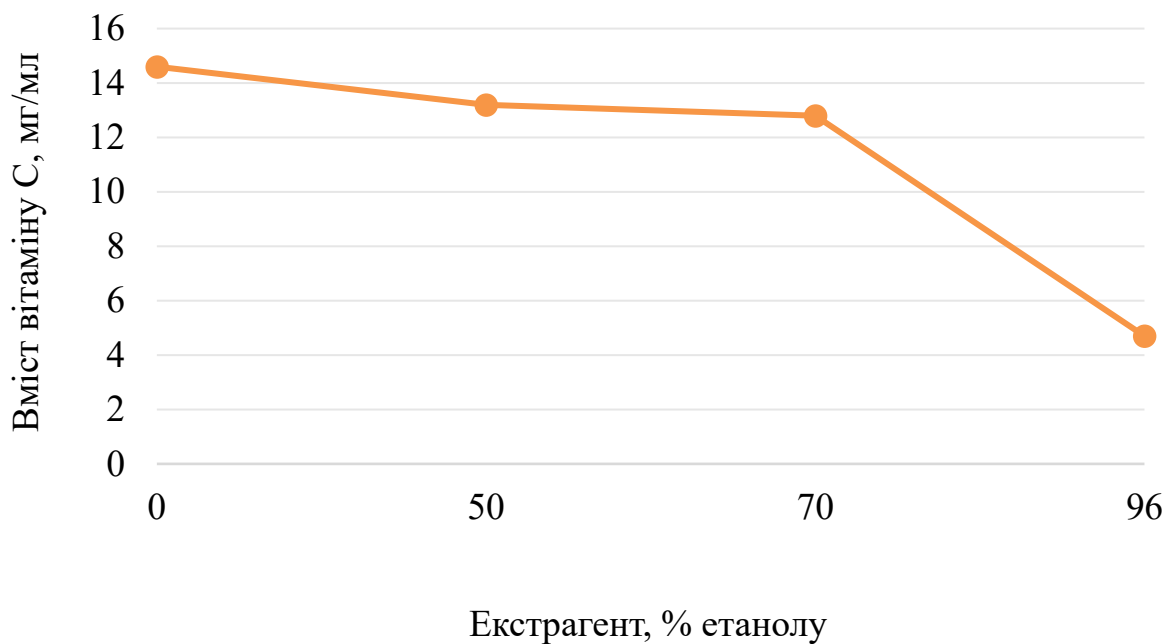


Рисунок 3.11 — Вміст вітаміну С у екстрактах добутих методом мацерації з різним типом екстрагенту.

Результати аналізу вмісту яблучної кислоти, (таблиця 3.9), показують чітку залежність ефективності екстракції від концентрації обраного розчинника. При порівнянні отриманих значень відносно виходу екстракту виявлено, що відсотковий вміст поліфенолів складає: при 0 % — 73 %, при 50% — 40,9 %, при 70% — 31,8 % та при 96 % — 20,5%

У чистій воді (0%) вміст яблучної кислоти становив 108,1 мг/мл, що є найвищим значенням серед усіх протестованих зразків. Цей результат пояснюється високою полярністю молекул яблучної кислоти та їх чудовою розчинністю у водних середовищах, що сприяє активній дифузії сполуки з рослинної сировини. Збільшення концентрації екстракційного розчинника до 50% та 70% призвело до поступового зниження вмісту яблучної кислоти до 102,4 мг/мл та 98,8 мг/мл відповідно. Тенденція свідчить про те, що додавання органічного компонента дещо знижує розчинність у системі. Однак, у цьому діапазоні концентрацій, середовище зі змішаною полярністю все ще дозволяє досягти відносно високої екстракції цільової сполуки. Подальше збільшення концентрації екстракційного розчинника до 96% призвело до значного зниження

вмісту яблучної кислоти, який знизився до 41,2 мг/мл. Значення відчить про те, що додавання органічного компонента дещо знижує розчинність у системі. Однак, у цьому діапазоні концентрацій, середовище зі змішаною полярністю все ще дозволяє досягти відносно високої екстракції цільової сполуки. Подальше збільшення концентрації екстракційного розчинника до 96% призвело до значного зниження вмісту яблучної кислоти, який знизився до 41,2 мг/мл. Це суттєве зниження виходу пояснюється зміною фізико-хімічних властивостей розчинника: у високоалкогольному середовищі набування рослинної матриці значно сповільнюється, а кінетика масопереносу молекул полярних оксикарбонових кислот зменшується.

Таким чином, аналітичні результати показують, що для максимального вилучення яблучної кислоти найефективнішим є використання водного середовища або низькоконцентрованих водно-спиртових сумішей (до 50%). Використання 96% екстракційного розчинника недоцільне через суттєві втрати біологічно активних речовин. Залежність концентрації яблучної кислоти від типу екстрагенту зображено на рисунку 3.12

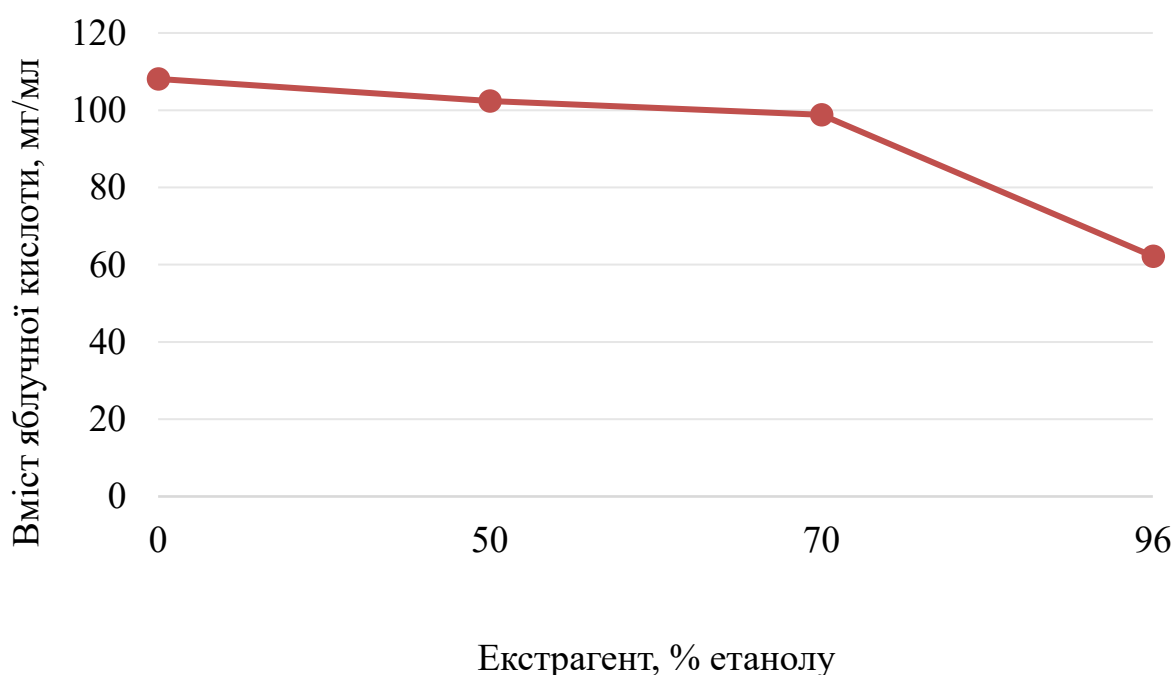


Рисунок 3.12 — Вміст яблучної кислоти у екстрактах добутих методом мацерації з різним типом екстрагенту.

Після проведених досліджень було встановлено набір технологічних параметрів для оптимізації екстракції термолабільних та біоактивних сполук із сушених яблучних шкірок.

Температура 45 °С виявилася вирішальною для збереження антиоксидантної активності екстракту. Ця температура забезпечує достатню кінетичну енергію для прискорення масопереносу, не викликаючи термічного розкладання аскорбінової кислоти (вітаміну С) або окислення чутливих поліфенолів.

Оптимальна тривалість процесу становить 120 хвилин. Цього часу достатньо для повного екстрагування сировини та встановлення динамічної рівноваги в системі тверда-рідка речовина. Збільшення часу екстракції було визнано недоцільним через ризик деградації вітамінів та пов'язаного з цим збільшення споживання енергії.

Співвідношення сировини та розчинника 1:20 виявилось оптимальним для підтримки високого градієнта концентрації. Цей гідромодуль забезпечує повне проникнення подрібненої яблучної шкірки та оптимальну циркуляцію екстракційного розчинника, гарантуючи таким чином максимальний вихід яблучної кислоти та поліфенольних сполук, одночасно оптимізуючи використання реагентів.

3.3 Хімічний склад отриманих екстрактів

Після визначення оптимальних параметрів екстракції поліфенолів, аскорбінової та яблучної кислот, шляхом статичної мацерації було повторно отримано біоактивний концентрат за оптимізованими параметрами екстракції (температура— 45 °С, час — 120 хв, співвідношення відходи:розчинник— 1:20, екстрагент — 70% етанол).

Технологічний протокол полягав у мацерації подрібненої сировини протягом 120 хвилин за постійної температури 45 °С. Екстракційним розчинником служив

70% водний розчин етанолу, що забезпечувало оптимальне знебарвлення цільових сполук при гідродинамічному співвідношенні 1:20.

Хімічний склад отриманого екстракту було детально проаналізовано за допомогою аналітичних методів. Загальний вміст фенольних антиоксидантів визначали спектрофотометрично за допомогою реактиву Фоліна-Чокальтеу, а концентрації вітаміну С та яблучної кислоти титрували йодометрично та алкаліметрично відповідно. Кінцеві концентрації розраховували за формулами 2.1–2.4 (таблиця 3.10)

Таблиця 3.10 — Кількісний вміст біоактивних цільових сполук у екстрактах добутих методом мацерації з оптимізованими параметрами процесу

Цільова сполука	Вміст, мг/мл
Поліфеноли	132,8
Вітамін С	12,9
Яблучна кислота	100,6

Для подальшої розробки біологічної косметичної сироватки було екстраговано 70 г сушених яблучних шкірок. Результати дослідження продемонстрували високу ефективність обраного методу: загальний вихід екстракту становив 320 мг/г сухої маси сировини, що свідчить про значне вихід сировини та високу біологічну цінність отриманого продукту. З 35 г сушених відходів було отримано 22,4 г біоактивного екстракту

4 РОЗРОБКА І ВИПРОБУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ КОСМЕТИЧНОЇ СИРОВАТКИ

4.1 Розробка складу сироватки, опис процесу виготовлення сироватки

На основі результатів попередніх досліджень було розроблено прототип органічної косметичної сироватки з високим вмістом біоактивних речовин, екстрагованих із відходів агропереробної промисловості — шкірки яблука.

Метою створення даного засобу є отримання ефективного натурального продукту для догляду за шкірою з антиоксидантними, зволожувальними та тонізуючими властивостями, що ґрунтується на принципах сталого використання біоресурсів.

Склад сироватки був сформований на основі трьох фаз: водної, активної та стабілізуючої. Відсотковий та масовий вміст компонентів на 480 г готової сироватки наведений у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 — Склад біоактивної сироватки на основі антиоксидантних екстрактів

Компонент	Вміст, %	Маса компонента з розрахунку на
Дистильована вода	87	417.6
Гліцерин	5	24
Пантенол	1.5	7.2
Екстракт яблучної шкірки	4	19.2
Гідрогенізований лецитин	0.7	3.36
Молочна кислота	0.3	1.44
Сорбат калію	0.5	2.4
Лавандова олія	1	4.8
Разом	100	480

Процес виготовлення сироватки складався з таких технологічних етапів:

У стерильних умовах готували водну фазу: до демінералізованої води додавали гліцерин, декспантенол і ефірну олію лаванди при постійному перемішуванні.

Окремо розчиняли екстракт у невеликій кількості попередньо підігрітої води (40 °С) для досягнення повної гомогенності, після чого вливали до загальної водної фази.

Після охолодження до 30 °С додавали консервант сорбат калію, емульгатор гідрогенізований лецитин та молочну кислоту для регуляції рН.

Готову сироватку фасували у флакони з темного скла, які попередньо пройшли стерилізацію в автоклаві.

Розробка складу сироватки ґрунтувалася на принципах функціональної збалансованості та дерматологічної сумісності компонентів. Враховувались сучасні вимоги до натуральної косметики: відсутність синтетичних барвників, агресивних консервантів та ПАР, використання екологічно чистої сировини з доведеним біоактивним потенціалом [37]. Введення у формулу висококонцентрованих сухих екстрактів, отриманих із яблучної шкірки.

У рецептуру було введено гідрогенізований лецитин (0,8%) як природний емульгатор, який сприяє утворенню легкої емульсії та забезпечує проникність активних речовин. Для стабілізації рН на рівні 5,5 додавали молочну кислоту у кількості 0,3%. У ролі консерванту виступив сорбат калію сумісний з натуральними продуктами.

До складу також увійшла ефірна олія лаванди (3%), що виконує функцію тонізуючого компонента з легким ароматичним ефектом.

У виборі емульгатора перевагу надано гідрогенізованому лецитину, що має подвійне функціональне значення: стабілізація емульсійної системи та підвищення біодоступності активних компонентів через ліпосомоподібну дію.

Це особливо важливо при доставці поліфенолів, які мають обмежену проникність через роговий шар. Наявність декспантенолу забезпечує

регенеративний ефект, підтримуючи процеси оновлення клітин та зменшуючи чутливість шкіри до зовнішніх подразників.

Ефірна олія лаванди, включена до складу, не тільки виконує функцію ароматизатора природного походження, а й проявляє протизапальні властивості завдяки вмісту ліналоолу та ліналілацетату.

Використання молочної кислоти в невеликій концентрації дозволяє підтримувати фізіологічний рівень рН сироватки та додатково стимулює мікроексфоціацію, сприяючи кращому проникненню активних речовин.

Процес виготовлення було адаптовано до умов малого виробництва з потенціалом для масштабування. Завдяки відносно низьким температурам обробки (до 45 °C) зберігається стабільність термолабільних речовин, зокрема вітаміну С. Послідовне з'єднання фаз із попередньою гомогенізацією активів забезпечує рівномірний розподіл функціональних компонентів у сироватці.

Під час тестового виробництва було закладено партію у 480 мл — 16 флаконів, що дозволило оптимізувати умови перемішування, контроль прозорості, стійкості емульсії та вивчити вплив фасування на стабільність продукту.

Вибір темного скла для упаковки зумовлений необхідністю захисту поліфенольної фракції та вітаміну С від фотодеструкції.

4.2 Дослідження фізико-хімічних властивостей продукту

У рамках даного етапу дослідження було проведено аналіз фізико - хімічних показників прототипу сироватки, що дозволяє оцінити її якість, стабільність та відповідність косметичним вимогам. Дослідження проводились протягом 30 діб після виготовлення, в умовах контрольованого зберігання (8 ± 2 °C) у герметичних флаконах з темного скла. Для оцінки були проведені визначення рівню рН, тест на відшарування, вміст сухого залишку та оптичні характеристики (таблиця 4.2)

Таблиця 4.2 — Фізико-хімічні показники прототипу сироватки

рН	від 5,27 до 5,34	в межах фізіологічної норми
Стабільність емульсії	без розшарування	відмінна стабільність
Сухий залишок	4.1%	оптимальний рівень активно речовин
Колір/прозорість	світло коричневий	відповідає складу натуральними екстрактами

Визначення рН Рівень кислотності є критично важливим для сумісності косметичного засобу з фізіологічним рН шкіри (4,5–5,5).

Вимірювання проводилось за допомогою каліброваного цифрового рН-метра. У день виготовлення середнє значення рН становило 5,34, через 15 діб — 5,29, після 30 діб — 5,27, що вказує на високу стабільність кислотності. Такий показник оптимально підходить для щоденного догляду за шкірою обличчя.

Для перевірки фізичної стабільності продукту проводили тест на відшарування: 10 мл сироватки центрифугували при 3000 об/хв протягом 15 хв. Ознак фазового розшарування або коалесценції виявлено не було. Візуальний огляд засвідчив стабільність емульсії навіть після 4-тижневого зберігання.

Вміст сухого залишку. З метою визначення загальної концентрації розчинених речовин у продукті проводилося висушування 5 мл сироватки при 105 °С до постійної маси. Середній сухий залишок становив 4,1%, що відповідає середньому рівню насичення для легких сироваткових форм з активами природного походження.

Оптичні характеристики. Колір продукту залишався стабільним (світло-коричневий). Прозорість була частково помутнілою, що характерно для наявності екстрактів без фільтрації, однак естетичне сприйняття залишалось привабливим. Осад не спостерігався.

Термостабільність продукту. Для визначення впливу температури на стабільність сироватки було проведено тест зберігання за стресовими

умовами: зразки витримували при температурах +4 °C, +25 °C та +45 °C протягом 21 доби. Після цього оцінювались в'язкість, колір, рН та наявність розшарувань. Рівень рН знизився лише на 0,08 одиниці. Інших суттєвих змін не зафіксовано, що вказує на високу термостійкість формули.

Випробування на циклічну заморозку-відтавання. Зразки піддавались трьом циклам заморожування (-10 °C) і відтавання при кімнатній температурі. Жодного випадку коалесценції чи втрати консистенції не виявлено. Це свідчить про достатню фізичну стабільність продукту у разі порушення умов транспортування.

рН-стабільність після відкриття флакону. Для оцінки змін рН при багаторазовому відкритті (імітація щоденного використання) флакон відкривали 5 разів на день протягом 30 діб. Вимірювання рН показали зміну на рівні $\pm 0,03$ од., що в межах допустимих коливань і не вказує на бактеріальне чи хімічне псування.

Оцінка сенсорних властивостей сироватки. Було проведено порівняльне дослідження органолептичних характеристик сироватки, Оцінювались такі параметри: легкість нанесення, швидкість вбирання, залишкова липкість, ефект стягнення, приємність аромату. У групі 5 добровольців ($n = 5$), які тестували продукт протягом 5 днів, 80% респондентів оцінили текстуру як «легку», 90% підтвердили повну відсутність липкості вже через 30 секунд після нанесення, а 92% визнали аромат натуральним і ненав'язливим. Це підтверджує споживчу привабливість продукту без використання синтетичних ароматизаторів.

Фотостабільність. Колірна стабільність оцінювалась шляхом порівняння зразків, зберіганих у темному місці, та під дією сонячного світла. Після 30 діб зберігання у прозорому флаконі виявлено незначне освітлення продукту, однак це не супроводжувалось розшаруванням чи випадінням осаду. Тому варто використовувати упаковку з темного скла або з УФ-захистом для збереження стабільності кольору.

На основі комплексу сенсорних і фізико-хімічних випробувань встановлено, що сироватка відповідає основним технічним та гігієнічним вимогам до

органічних косметичних засобів. Її стабільність підтверджена як за стандартних умов зберігання, так і за стресових (температурні коливання, світло, контакт з повітрям). Структура продукту демонструє високі показники зволоження, реологічну стабільність і хорошу споживчу оцінку.

4.3 Оцінка ефективності продукту

Мета цього етапу дослідження – підтвердити заявлену ефективність розробленої органічної сироватки на основі біоактивних екстрактів, отриманих із агропромислових відходів, при нанесенні на шкіру обличчя та зони декольте.

Оцінка проводилась шляхом поєднання суб'єктивного анкетування користувачів і об'єктивного інструментального аналізу.

Методика випробування. У тестуванні брали участь 10 добровольців (жінки віком 20–45 років) без ознак гострих дерматологічних захворювань. Курс застосування тривав 14 днів, сироватку наносили 1 раз на день ввечері після очищення шкіри. Перед початком і після завершення тестування проводили анкетування.

Оцінювались такі критерії, як зволоженість шкіри, відчуття м'якості та гладкості після застосування, зменшення почервоніння, відсутність подразнення або алергічної реакції (таблиця 4.3)

Таблиця 4.3 — Аналіз результатів суб'єктивного анкетування користувачів

Критерій	Добровольці, які надали відповідь «ТАК», %
шкіра стала помітно зволоженою	80
відчуття м'якості та гладкості після застосування	90
зменшення почервоніння	60
відсутність подразнення або алергічної реакції	100

Упродовж усього періоду тестування не зафіксовано жодного випадку алергічної реакції, свербіж, печіння чи дискомфорту. Це підтверджує високу біосумісність сироватки з епідермісом та ефективність використаного натурального консерванта.

Результати дослідження демонструють, що розроблена сироватка:

- покращує зволоження та еластичність шкіри;
- має виражений антиоксидантний ефект;
- безпечна для чутливої шкіри;
- позитивно сприймається користувачами.

Це дозволяє рекомендувати її як натуральний косметичний засіб для щоденного догляду з підтвердженою ефективністю.

Крім базових показників, окрему увагу було приділено оцінці впливу сироватки на дерматологічні стани низької інтенсивності, характерні для щоденного стресу шкіри: підвищена сухість, невиражене лущення, мікрозапалення, тьмянний тон.

У 30% учасників на початку дослідження було зафіксовано наявність ділянок локального гіперкератозу на щоках і в ділянці носогубного трикутника. Після 14 днів застосування сироватки у всіх випадках відзначено зменшення щільності ороговілого шару. Це пояснюється м'якою кератолітичною дією молочної кислоти, яка в складі працює як натуральний компонент.

У 30% жінок з початковими ознаками неоднорідного тону шкіри було зафіксовано легке освітлення зони впливу. Це дозволяє припустити, що регулярне використання продукту може сприяти поступовому вирівнюванню тону шкіри завдяки впливу поліфенольних сполук, зокрема хлорогенової кислоти.

У середньому користувачі зазначали, що ефект зволоження відчувався впродовж 8–10 годин, що є високим показником для безсиликонової формули.

Також оцінювався ефект на розширені пори: візуально у 60% добровольців спостерігалось звуження пор та зменшення їх вираженості, що може пояснюватись тонізуючою дією гідролату лаванди, вмістом органічних кислот та антиоксидантним ефектом, який знижує запальні реакції в устях фолікулів.

Оцінка психоестетичного ефекту також була важливою частиною дослідження. В анкетах добровольці зазначали:

90% — «покращення зовнішнього вигляду шкіри зранку»;

50% — «менше необхідності наносити декоративну косметику»;

80% — «відчуття комфорту впродовж дня навіть без крему»;

70% — «загальне покращення самооцінки зовнішнього вигляду».

Ці показники мають неабияке значення, оскільки вони демонструють не лише фізіологічний вплив сироватки, але й її емоційно-поведінковий ефект, що є актуальним у сучасній косметології, орієнтованій на благополуччя.

Таким чином, її можна розглядати як перспективну натуральну альтернативу косметиці з більш агресивними активами, що дозволяє використовувати її в ширшій аудиторії — включно з підлітками, людьми з чутливою шкірою та алергіками.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеної роботи було встановлено, що відходи агропереробної промисловості, які традиційно розглядались як вторинна сировина або сміття, можуть бути цінним джерелом біоактивних речовин, придатних для використання у складі доглядової косметики. Зокрема, екстракти, отримані з яблучної шкірки, містять широкий спектр сполук із вираженою антиоксидантною, протизапальною, тонізуючою та зволожувальною дією.

На основі аналізу сучасних методів вилучення активів із рослинної сировини було обґрунтовано вибір мацерації з температурним впливом як найбільш ефективного, екологічного та енергозберігаючого методу.

Отримані екстракти мали високий вміст поліфенолів, вітаміну С та яблучної кислоти, що було підтверджено спектрофотометричними та аналітичними методиками.

Експериментально доведено, що оптимальною температурою для вилучення поліфенолів є 45 °С, при якій їхній вміст досяг 130,8 мг/мл. Подальше нагрівання до 65 °С призводило до зниження концентрації через термічну деградацію сполук.

Встановлено, що для максимального виходу яблучної кислоти (79,6 мг/мл) достатньо 60 хвилин екстракції. Збільшення часу до 240 хвилин не дало суттєвого приросту концентрації, що свідчить про досягнення рівноваги в системі.

Найвищу ефективність вилучення поліфенолів (158,3 мг/мл) зафіксовано при співвідношенні сировина:розчинник 1:40, що забезпечує найкращий градієнт концентрації для дифузії. Визначено, що використання 70% водно-етанольного розчину забезпечує максимальний вміст поліфенолів (138,6 мг/мл), оскільки така концентрація є оптимальною для розчинення як гідрофільних, так і помірно гідрофобних сполук.

Подальше впровадження цих екстрактів у формулу косметичної сироватки дозволило створити натуральний засіб зі стабільною структурою, прийнятним рН, приємною текстурою та високим профілем безпеки. Дослідження фізико-хімічних властивостей продукту засвідчили його стабільність протягом тривалого

зберігання, відсутність розшарування, змін кольору чи запаху, а також стійкість до температурних коливань.

Суб'єктивне оцінювання ефективності показало, що сироватка суттєво покращує гідратацію шкіри, підвищує еластичність, та сприяє зменшенню почервоніння, подразнень і нерівномірного тону.

Особливо важливо, що в процесі тестування не було зафіксовано жодних побічних реакцій, що свідчить про її гіпоалергенність і придатність до щоденного використання навіть для чутливої шкіри.

Усі отримані результати дозволяють зробити висновок про доцільність і перспективність переробки агровідходів на функціональну сировину для косметичної промисловості. Запропонований підхід є прикладом реального впровадження принципів сталого розвитку, екологічної інженерії та економіки замкненого циклу в сфері натуральної косметики. Таким чином, розроблена органічна сироватка не лише відповідає сучасним тенденціям «зеленої косметики», а й має високу практичну цінність та інноваційний потенціал для промислового виробництв

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [Електронний ресурс] : розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 № 820-р : станом на 17.09.2020. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>

2. Духневич А. В. Стратегічне управління відходами в аграрному секторі для досягнення цілей сталого розвитку [Електронний ресурс] / А. В. Духневич, Н. В. Карпінська // Науковий вісник Ужгородського Національного Університету. Серія: Право. – 2025. – Вип. 87. – С. 188–190. – Режим доступу: <https://visnyk-juris-uzhnu.com/wp-content/uploads/2025/03/29-1.pdf>.

3. Горобець О. В. Класифікація сільськогосподарських відходів і вибір технології їх утилізації [Електронний ресурс] / О. В. Горобець // Екологічні науки. – 2020. – Т. 4, вип. 31. – С. 225–229. – Режим доступу: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/4/37.pdf>.

4. Євчук Х.-І. В. Європейський досвід забезпечення управління відходами виробництва продукції сільського господарства [Електронний ресурс] / Х.-І. В. Євчук // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство. – 2019. – Вип. 28. – С. 124–129. – Режим доступу: http://visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/28_1_2019ua/23.pdf

5. Sun X. Bioprocessing to upcycle agro-industrial and food wastes into high-nutritional value animal feed for sustainable food and agriculture systems [Електронний ресурс] / X. Sun, E. Zhengxia Dou, G. C. Shurson // Resources, Conservation and Recycling. – 2023. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344923004597>.

6. Vedovatto F. Production of biofuels from soybean straw and hull hydrolysates obtained by subcritical water hydrolysis [Електронний ресурс] / F. Vedovatto [та ін.] // Bioresource Technology. – 2021. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421001760>.

7. Smeriglio A. Polyphenols in Fruits and Vegetables and Their Impact on Human Health [Текст] / A. Smeriglio, D. Barreca, E. Bellocco // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22.

8. Fraga C. G. The effects of polyphenols and other bioactives on human health [Електронний ресурс] / C. G. Fraga [та ін.] // Food and Function. – 2019. – P. 514–528. – Режим доступу: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2019/fo/c8fo01997e>.

9. Jakobek L. Phenolic Compounds from Apples: From Natural Fruits to the Beneficial Effects in the Digestive System [Електронний ресурс] / L. Jakobek, P. Matic' // Molecules. – 2024. – Vol. 29, iss. 3. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/molecules29030568>.

10. Zhang Q.-W. Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review [Електронний ресурс] / Q.-W. Zhang, L.-G. Lin, W.-C. Ye // Chinese Medicine. – 2018. – Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5905184/>

11. Domínguez-Perles R. Brassica foods as a dietary source of vitamin C: A review [Електронний ресурс] / R. Domínguez-Perles [та ін.] // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 2014. – Vol. 54, iss. 3. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.626873>.

12. Granger M. Dietary vitamin C in human health [Електронний ресурс] / M. Granger, P. Eck // Food Nutrients. – 2018. – Vol. 83. – P. 281–310. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2017.11.006>.

13. Sanadi R. The effect of Vitamin C on melanin pigmentation - A systematic review [Електронний ресурс] / R. Sanadi, R. Deshmukh // National Library of Medicine. – 2020. – Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7802860/>

14. Анацький А. С. Дослідження процесу виділення кислот з відходів виробництва плодово-ягідних напоїв [Текст] / А. С. Анацький, Л. А. Шквиренко, В. Ю. Трішина // Хімічні технології. Біотехнології : зб. наук. пр. – [Б. м.], [р. н.].

15. Bitwell C. A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants [Електронний ресурс] / C.

Bitwell [та ін.] // Scientific African. – 2023. – Vol. 19. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585>

16. Lipeng S. A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies [Електронний ресурс] / S. Lipeng [та ін.] // National Library of medicine. – 2023. – Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10594638/>

17. Destandau E. Microwave-assisted Extraction [Електронний ресурс] / E. Destandau, T. Michel, Ch. Elfakir // Royal Society of Chemistry. – 2013. – Vol. 4. – P. 113–156. – Режим доступу: <https://books.rsc.org/books/edited-volume/1028/chapter/838897/Microwave-assisted-Extraction>

18. Turcu O. Cosmetics Industry Performance in the European Union: A Comparative Analysis [Електронний ресурс] / O. Turcu, Cr. Brancu // Proceedings of the International Conference on Business Excellence. – 2025. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/381554522>

19. Sherry A. How Awareness of Organic JAS and RSPO Labels Influences Japanese Consumers' Willingness to Pay More for Organic Cosmetics [Електронний ресурс] / A. Sherry [та ін.] // Sustainability. – 2025. – Vol. 17. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>

20. Bozza A. Current regulatory and market frameworks in green cosmetics: The role of certification [Електронний ресурс] / A. Bozza [та ін.] // Science of Cosmetics. – 2022. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554122002558>

21. Popescu V. Green Chemistry in the Extraction of Natural Dyes from Colored Food Waste, for Dyeing Protein Textile Materials [Електронний ресурс] / V. Popescu [та ін.] // Polymers. – 2021. – Vol. 13, iss. 22. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/22/3867>

22. Vaidya S. Review on Face Serum [Електронний ресурс] / S. Vaidya // Asian Journal of Pharmaceutics. – 2024. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/385262744_Review_on_Face_Serum

23. ДСТУ ISO 3696:2003. Вода для застосування в лабораторіях. Вимоги та

методи перевіряння [Текст]. – Чинний від 2004-07-07. – 12 с.

24. 4. Дмитрієвський Д. І. Гліцерин [Електронний ресурс] / Д. І. Дмитрієвський, К. М. Ситник // Фармацевтична енциклопедія. – Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2997/glycerin>

25. Гарна Н. В. Декспантенол [Електронний ресурс] / Н. В. Гарна, С. М. Ролік // Фармацевтична енциклопедія. – Режим доступу: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2429/dekspantenol>

26. ДСТУ 4621:2006. Кислота молочна харчова. Загальні технічні умови [Текст]. – Чинний від 2006-06-29. – 15 с.

27. ISO 3515:2002. Oil of lavender *Lavandula angustifolia* Mill [Електронний ресурс]. – Чинний від 2002-02-14. – Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/36253.html>
28. Bharathi R. Study on the extraction yield of hydroethanolic extracts of medicinal plants using the cold maceration method [Електронний ресурс] / R. Bharathi [та ін.] // *International Journal of Research in Agronomy*. – 2025. – Режим доступу: <https://www.agronomyjournals.com/>
29. Ahmoda R. A. The Impact of Various Temperatures on Polyphenol and Flavonoid Extraction from *Fumaria officinalis* Herba [Електронний ресурс] / R. A. Ahmoda [та ін.] // *Proceedings of The IX International Congress “Engineering, Environment and Materials in Process Industry” (MDPI)*. – 2025. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2673-4591/99/1/15>
30. Zainol N. Influence of agitation and solvent percentage on the extraction of phytochemical compound from *Asystasia gangetica* [Електронний ресурс] / N. Zainol, N. H. Aziz, A. S. Baharudin // *Food Chemistry Advances*. – 2023. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X23003593>
31. Jace D. A through study of reactivity of various compound classes towards the Folin-Ciocalteu reagent [Електронний ресурс] / D. Jace [та ін.] // *Agric Food Chem*. – 2014. – Вип. 14. – Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4075968/>
32. Спектрофотометр 102UV Ulab [Електронний ресурс] / SpectroLab. – Режим доступу: <https://spectrolab.com.ua/ua/p134190083-spektrofotometr-102uv-ulab.html>
33. Jeffery J. *Textbook of Quantitative Chemical Analysis* [Електронний ресурс] / J. Jeffery [та ін.]. – New York : Longman Scientific and Technical, 1989. – 417 p. – Режим доступу: <https://chem.hbcse.tifr.res.in/wp-content/uploads/2019/10/vogels-textbook-of-quantitative-chemical-analysis-5th-edition.pdf>
34. Herlich K. *Official methods of analysis* [Електронний ресурс] / Kenneth Herlich. – Arlington, Virginia, 1990. – P. 359–367. – Режим доступу: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
35. ISO 750:1998. Fruit and vegetable products — Determination of titratable

acidity [Електронний ресурс]. – Чинний від 2019-09-01. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83750

36. ISO 23975:2020. Patch Test Protocols for Dermatological Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eulabtest.com/iso-23975-patch-test-protocols-for-dermatological-products>

37. ДСТУ ISO 16128-1:2023. Косметика. Настанови щодо технічних визначень та критеріїв для натуральних та органічних косметичних інгредієнтів і продукції [Текст]. – На заміну ISO 16128-1:2016 ; чинний від 2023-12-31. – 18 с.

38. 8. Методичні рекомендації щодо підготовки та виконання кваліфікаційної роботи магістра здобувачами вищої освіти спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» [Текст] / уклад. О. А. Параска, Т. В. Іванішена. – Хмельницький : Хмельницький національний університет, 2024. – С. 43.

39. Текстові документи. Загальні вимоги і правила оформлення [Текст] : СОУ 207.01:2025. – Хмельницький : ХНУ, 2025. – 40 с.

40. Бібліографічний запис. Загальні вимоги та правила складання [Текст] : СОУ 207.02:2025 / О. М. Синюк, О. П. Шмурікова. – Хмельницький : ХНУ, 2025. – 38 с.