

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій**  
**Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок**  
**та косметичних засобів**

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту ННІХТ  
Оксана КОЧУБЕЙ-  
ЛИТВИНЕНКО  
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» грудня 2025р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри ТЖХТ  
Тамара НОСЕНКО  
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» грудня 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Хімічні технології харчових добавок та косметичних засобів

на тему: Розробка лінійки косметичних засобів по догляду за обличчям з папаїном

Виконав: здобувач(ка) 2 курсу, групи ХТ-2-15М

ІВАНЮК Соломія Василівна  
(ПРІЗВИЩЕ, Ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник РОМАНОВА Олеся Олександрівна  
(ПРІЗВИЩЕ, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ (підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) Віра ІЩЕНКО  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач(ка) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2025 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інститут харчових технологій  
Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічні технології харчових добавок та косметичних засобів  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ 10 ” жовтня 2025 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Іванюк Соломії Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка лінійки косметичних засобів по догляду за обличчям з папаїном

керівник роботи к.т.н., доцент Романова Олеся Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “10” 10 2025 року № 832-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи розробка косметичної ензимної пудри продуктивністю 100 кг

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, аналітичний огляд науково-технічної літератури, об'єкти та методи досліджень, експериментальна частина, технологічна частина, розрахунок економічної ефективності, охорона навколишнього середовища, охорона праці, висновки, список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10.10. 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	10.10.2025	
2	РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	10.10.2025-12.10.2025	
3	РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	13.10.2025-15.10.2025	
4	РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	15.10.2025-23.10.2025	
5	РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	23.10.2025-31.10.2025	
6	РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	01.11.2025-03.11.2025	
7	РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	04.11.2025-06.11.2025	
8	РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ	07.11.2025-10.11.2025	
9	ВИСНОВКИ	11.11.2025-15.11.2025	
10	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	16.11.2025-17.11.2025	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	18.11.2025-21.11.2025	
12	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	21.11.2025-24.11.2025	
13	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	25.11.2025-01.12.2025	

**Здобувач** \_\_\_\_\_  
(підпис)

Соломія ІВАНЮК  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олеся РОМАНОВА  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

### Іванюк С.В.: Розробка лінійки косметичних засобів по догляду за обличчям з папаїном

Пояснювальна записка 92 с., рис., табл., літературних джерел

Графічний матеріал: 4 креслення формату А-1

У кваліфікаційній роботі магістра проаналізовано науково-технічні джерела щодо використання папаїну в косметиці як протеолітичного ферменту та узагальнено дані про механізм ензимної ексfolіації. Сформовано концепцію лінійки засобів для догляду за обличчям з папаїном, яка включає ензимну пудру для очищення та крем з папаїном, і обґрунтовано підбір активних та допоміжних компонентів з урахуванням їх технологічного призначення, сумісності та спрямованості дії (очищення, делікатне відлущування, зволоження й підтримка бар'єрної функції).

Експериментально підтверджено, що розроблені зразки відповідають основним органолептичним і фізико-хімічним вимогам: ензимна пудра є однорідною, сипкою та стабільною під час зберігання, рН =5,9, а крем має однорідну консистенцію, не розшаровується і характеризується рН 5,7. На основі математичної моделі оптимізації складу (методи планування експерименту) визначено доцільні межі введення папаїну для ензимної пудри — 1,5-10%.

Узагальнено токсикологічні характеристики інгредієнтів і встановлено вимоги до безпечності, зокрема контроль ферментного комплексу та ефективності консервувальної системи крему.

Розроблено принципову технологічну схему виробництва та виконано розрахунок матеріального балансу, де технологічні втрати становлять 6,85%. Наведено елементи техніко-економічного обґрунтування (собівартість ензимної пудри — 233 грн) і запропоновано заходи з охорони праці та екологічної безпеки відповідно до вимог GMP.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПАПАЇН, ЕНЗИМИ, ФЕРМЕНТ, ЕНЗИМНА ПУДРА, КРЕМ, ЕМУЛЬГАТОР, ЕМУЛЬГУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ, СТАБІЛЬНІСТЬ, БРОМЕЛАЙН.

## **ABSTRACT**

### **Ivanyuk S.V.: Development of a line of cosmetic products for facial care with papain**

Explanatory note 92 p., fig., table., literary sources

Graphic material: 4 drawings of A-1 format

The master's qualification work analyzed scientific and technical sources on the use of papain in cosmetics as a proteolytic enzyme and summarized data on the mechanism of enzymatic exfoliation. The concept of a line of facial care products with papain was formed, which includes an enzymatic cleansing powder and a cream with papain, and the selection of active and auxiliary components was justified, taking into account their technological purpose, compatibility and direction of action (cleansing, delicate exfoliation, moisturizing and supporting the barrier function).

It was experimentally confirmed that the developed samples meet the basic organoleptic and physicochemical requirements: the enzyme powder is homogeneous, free-flowing and stable during storage, pH = 5.9, and the cream has a homogeneous consistency, does not stratify and is characterized by pH 5.7. Based on the mathematical model of composition optimization (experimental planning methods), the appropriate limits for the introduction of papain for the enzyme powder were determined - 1.5-10%.

The toxicological characteristics of the ingredients were summarized and safety requirements were established, in particular, control of the enzyme complex and the effectiveness of the cream preservation system.

A basic technological scheme of production was developed and a material balance calculation was performed, where technological losses are 6.85%. Elements of the feasibility study (cost of enzyme powder - 233 UAH) were presented and measures for labor protection and environmental safety in accordance with GMP requirements were proposed.

**KEYWORDS: PAPAN, ENZYMES, ENZYME, ENZYME POWDER, CREAM, EMULSIFIER, EMULSIFICATION, TECHNOLOGY, STABILITY, BROMELINE.**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ...	10
1.1 Асортимент та особливості ринку засобів із папаїном.....	10
1.2 Особливості призначення і застосування ензимних пудр.....	12
1.3 Коротка характеристика папаїну.....	15
1.4 Косметичні засоби для обличчя з папаїном.....	18
1.4 Характеристика ензимних пудр для обличчя: види та особливості.....	21
РОЗДІЛ II МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Характеристика сировини.....	23
2.2 Методи дослідження.....	29
РОЗДІЛ III ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	32
3.1 Розробка рецептури та опис технології косметичних засобів.....	32
3.2 Оптимізація рецептури ензимної пудри з папаїном.....	34
3.2.1 Дослідження органолептичних показників косметичних засобів.....	36
3.2.2 Дослідження фізико-хімічних показників ензимної пудри з папаїном...	42
3.3 Розробка рецептури крему для обличчя з папаїном та дослідження його властивостей.....	42
3.4 Токсикологічний профіль інгредієнтів.....	45
РОЗДІЛ VI ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	49
4.1 Технологія отримання ензимної пудри з папаїном.....	49
4.1.1 Опис принципової технологічної схеми отримання принципової технологічної схеми ензимної пудри з папаїном.....	49
4.1.2 Розрахунок матеріального балансу.....	51
4.1.3 Опис апаратурної технологічної схеми отримання принципової технологічної схеми ензимної пудри з папаїном.....	59
4.2.1 Опис принципової технологічної схеми отримання принципової технологічної схеми крему для обличчя з папаїном.....	62
4.2.2 Розрахунок матеріального балансу.....	64

4.1.3	Опис апаратурної технологічної схеми отримання принципової технологічної схеми крему для обличчя з папаїном.....	68
4.3	Підбір основного обладнання.....	71
	РОЗДІЛ V РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	78
	РОЗДІЛ VI ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	82
	РОЗДІЛ VII ОХОРОНА ПРАЦІ.....	84
	ВИСНОВКИ.....	86
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	88

## ВСТУП

Сучасний ринок косметичних засобів для догляду за шкірою обличчя характеризується сталим зростанням попиту на продукти, які поєднують результативність із м'якою дією та високою переносимістю. Споживачі очікують від догляду не лише базового очищення, а й видимого покращення зовнішнього вигляду шкіри: вирівнювання рельєфу, підвищення гладкості, зменшення проявів тьмяності, підтримання достатнього рівня зволоження та збереження бар'єрної функції. Водночас у щоденній практиці догляду поширеними залишаються проблеми нерівномірного зроговіння рогового шару, закупорювання пор, схильність до комедонів і періодичних запальних елементів, а також підвищена чутливість, що може проявлятися почервонінням і дискомфортом після застосування активних засобів.

Папаїн — протеолітичний фермент, отриманий з папаї, який забезпечує м'яку ензимну ексfolіацію за рахунок розщеплення білкових зв'язків у поверхневих нашаруваннях рогового шару. Це дозволяє делікатно усувати надлишок зроговілих клітин, покращувати гладкість та візуальну рівність шкіри без вираженої травматизації. Додатковою перевагою є можливість інтеграції папаїну в різні косметичні форми — від ензимних пудр для очищення до кремів, орієнтованих на підтримку комфортного стану шкіри після ексfolіації. Саме тому розробка лінійки засобів по догляду за обличчям з папаїном є своєчасною та практично значущою з позиції сучасних трендів, запиту споживачів і потреби в поєднанні ефективності з делікатністю дії.

**Актуальність теми** зумовлена необхідністю розробки лінійки засобів для догляду за обличчям із папаїном як функціональним компонентом, що поєднує ефективне очищення та делікатне відлущування з мінімальним ризиком подразнення, а також відповідає сучасним вимогам до безпечності, стабільності та споживчих властивостей косметичної продукції.

**Мета роботи** — розробити лінійку косметичних засобів для догляду за обличчям з папаїном (ензимна пудра та крем) і обґрунтувати вибір сировини,

склад, технологічні параметри виготовлення та показники якості готових продуктів.

**Об'єкт дослідження** — косметичні засоби для догляду за шкірою обличчя з папаїном у складі порошкових та/або емульсійних систем.

**Предмет дослідження** — склад, властивості та технологічні параметри розроблених рецептур ензимної пудри й крему з папаїном, а також вплив папаїну та супровідних компонентів на органолептичні, фізико-хімічні, стабілізаційні та споживчі показники готової косметичної продукції.

**Наукова новизна** роботи полягає у створенні косметичних формул, що оптимізують ферментативну активність папаїну для ексfolіації та регенерації шкіри. Розроблена рецептура ензимної пудри значно підвищує стабільність ферменту і забезпечує його тривалу активність у вологих умовах нанесення.

**Практична цінність** полягає в тому, що розроблена лінійка доглядових засобів, а саме ензимна пудра для щоденного пілінгу та крем для обличчя, можуть бути впровадженні у виробництво як натуральна альтернатива кислотним пілінгам.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана в рамках кафедральної держбюджетної тематики № 0122U200973 «Науково-практичні основи розроблення та модернізації технологій харчових добавок та косметичних засобів», зареєстрованої в ДНУ «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації».

**Апробація** Іванюк С.В. Дослідження папаїну фізико-хімічними методами. Матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті", 7–11 квітня 2025 р., Київ: НУХТ, Ч.2. С.

# РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Асортимент та особливості ринку засобів із папаїном

У сучасній косметології папаїн розглядають як один із ключових протеолітичних ферментів рослинного походження, що поєднує ексфоліативну, зволожувальну, регенераційну та антиоксидантну дію на шкіру. Доведено, що сукупний ефект папаїну: гідратація, гідроліз пошкоджених білків, стимуляція оновлення клітин, імуномодулюючий вплив, здатність до м'якого відлущування – розглядається як підґрунтя для його широкого застосування в засобах проти боротьби зі зморшками [1] Прогнозується, що папаїн набуде широкого використання як потенційний анти-ейджинговий та ексфоліативний агент у косметичних композиціях, що надає перспективу ринку засобів із папаїном.[1]

Папаїн, присутній у плодах, листі та латексі рослини, забезпечує ексфоліацію за рахунок розщеплення білків, сприяє очищенню пор, зменшує запалення, впливає на рубці та гіперпігментацію, а отже формує попит на косметичні засоби з папаїном у сегментах протиакне, висвітлення шкіри, антиейдж та догляду за проблемною шкірою.[2]

### *Асортимент папаїновмісних косметичних засобів*

Папаїн зазвичай використовується як хімічний ексфоліант у складі кремів, гелів та інших форм для шкіри.[1] Зазначено, що особливо перспективною є форма зв'язаного папаїну, у якій фермент ковалентно іммобілізований на поліакрилової кислоті; у формуляціях така форма використовується у концентрації 2–5 %, забезпечуючи контрольовану ексфоліацію та покращення проникнення біологічно активних добавок та зволожувачів у шкіру.[1]

Косметичні засоби з папаїном варто поєднувати з іншими рослинними екстрактами – ехінацеї, гінкго білоба, алое, чайного дерева, гіперициму тощо –

з метою посилення кератолітичного ефекту й одночасного забезпечення безпеки шкіри.[1]

#### *Функціональні напрями використання папаїну в косметичі*

Папаїн та пов'язані з ним протеолітичні ферменти допомагають зменшувати запалення і сприяють ексфоціації за рахунок розщеплення білків.[2] Продукти з папаїном можуть зменшувати акне, оскільки фермент видаляє відмерлі клітини, які блокують пори, та ушкоджений кератин, що призводить до нашарувань на шкірі.[2]

Доведено, що регулярна ексфоціація за участю папаїну сприяє виведенню продуктів обміну з епідермісу, стимулює кровообіг, підвищує еластичність та пружність шкіри.[1] Також папаїн наділений властивістю антиоксидантного захисту від УФ-випромінювання та поліпшення функціональності колагену, що разом зменшує прояви вікового старіння.[1] Додактовно, засоби з папаїном допомагають протидіяти вільнорадикальному ушкодженню та покращують еластичність шкіри.[2]

Папаїн може сприяти освітленню шкіри, зменшенню пігментних плям, постакне-рубців і темних ділянок (наприклад, на ліктях і колінах), оскільки фермент розщеплює інертний білок і полегшує відлущування пігментованих клітин.[2]

Засоби з папаїном глибоко очищують поверхню шкіри, прибираючи забруднення, залишки тканин та надлишковий шкірний жир і водночас сприяючи більш яскравому й «чистому» тону обличчя.[2] Папаїн завдяки ферментативному розщепленню білків і підвищенню водоутримувальної здатності рогового шару, асоціюються з поліпшенням гідратації та зовнішнього вигляду шкіри.[1],[2]

Доведено, що маски на основі папаїну можуть послаблювати фолікули волосся на обличчі та освітлювати волосинки, а регулярне застосування здатне зменшувати їх повторний ріст.[2]

#### *Сировинна база та географічні передумови ринку*

Огляд, присвячений папайї, детально описує географію культивування рослини та обсяги виробництва, що важливо для розуміння сировинної бази ринку засобів із папаїном. Автори зазначають, що папайя походить з Південної Мексики та Центральної Америки, а нині культивується практично в усьому світі – у Гаваях, Австралії, Індії, країнах Центральної Африки, Азії та Бразилії.[2] Річний світовий обсяг виробництва папайї оцінюється приблизно у 6 млн тонн, причому Індія, за наведеними даними, виробляє 13,9 млн тонн на рік і забезпечує близько 43 % світового виробництва.[2] Такий розподіл показує, що ринок сировини для папаїну спирається на широке коло тропічних країн, а значний внесок Індії створює передумови для розвитку там промислових потужностей з переробки папайї для фармацевтичних і косметичних цілей.

## **1.2 Особливості призначення і застосування ензимних пудр**

Ензимні пудри для очищення та пілінгу шкіри мають дію протеолітичних ферментів, які здатні імітувати природний процес фізіологічного злущування рогового шару. Протеази включаючи папаїн, бромелайн, кератинази та мікробні ферменти, можуть вводитися до складу косметичних засобів як м'які ексfolіанти, копіюючи природну десквамацію, покращуючи зовнішній вигляд і функціональний стан шкіри.[3]

Термін ензими косметики для позначення косметичних продуктів, до складу яких входять протеолітичні ферменти, що цілеспрямовано гідролізують пептидні зв'язки білків рогового шару.[4] Доведено, що такі засоби забезпечують біологічний пілінг, прискорюють регенерацію шкіри, сприяють глибокому очищенню та полегшують проникнення інших активних компонентів доглядових препаратів.[4] Однією з найбільш зручних форм реалізації цих властивостей є ензимні пудри, які перед нанесенням змішують із водою до стану кремоподібної маси.

## **Біохімічні засади дії ензимних пудр**

Протеолітичні ферменти в косметиці діють на рівні рогового шару, де розщеплюють білкові компоненти, відповідальні за зчеплення корнеоцитів.[3] Це створює можливість проводити контрольоване відлущування без агресивного пошкодження глибших шарів шкіри. За умов правильно підбраного рН, температури й системи стабілізації ферменти здатні забезпечувати виражений ексfolіативний ефект, не викликаючи надмірного подразнення.[3]

Ензимна ексfolіація відноситься до окремої групи поряд із хімічними та механічними пілінгами, ензими як біокаталізатори мають кілька переваг: високу специфічність дії, можливість роботи при фізіологічних умовах, а також більш м'який вплив порівняно з кислотами чи абразивами.[4] Доведено, що дермальні ензими для косметичного застосування повинні характеризуватися високою чистотою, низькою антигенністю та стабільністю за умов, близьких до фізіологічних, що є ключовим при створенні ензимних пудр.[4]

Для групи протеаз (переважно рослинного походження) відзначено такі ефекти, як видалення відмерлих клітин, регуляція десквамації, зменшення сухості шкіри, антиейдж-дія та покращення проникнення активних речовин.[4] Саме ці властивості лежать в основі призначення ензимних пудр як засобів для делікатного очищення та оновлення шкіри.

## **Показання до застосування ензимних пудр**

Ензимні пілінги рекомендуються при гіперпигментації, постзапальних плямах, акне, себорейній та шорсткій шкірі, а також у рамках загального догляду за обличчям незалежно від фототипу.[4] Завдяки специфічній дії протеаз на білкові «містки» між роговими клітинами відбувається м'яке розм'якшення та відділення надлишкового рогового шару, що сприяє вирівнюванню мікрорельєфу та покращенню текстури шкіри.[4] Доведено, що ензимні пілінги можуть слугувати безпечнішою альтернативою кислотним процедурам у цієї групи клієнтів, оскільки ризик постзапальної гіперхромії та вираженого подразнення нижчий, ніж при використанні гліколевої чи інших

АНА-кислот.[4]\_Також такі засоби можуть застосовуватися як «літні» пілінги, коли класичні хімічні эксфоліанти часто протипоказані через високу інсоляцію.[4]\_

Використання ензимів у складі эксфоліантів дозволяє поліпшувати низку косметично значущих параметрів шкіри: гладкість, однорідність тону, зменшення вираженості дрібних зморшок та дефектів поверхні.[3]\_

### **Особливості застосування ензимних пудр (на прикладі порошкового ензимного пілінгу)**

Використання ензимної пудри в процедурі пілінгу із застосуванням комерційного порошкового препарату, що містить папаїн.[4]\_Формула продукту включає крохмаль рису (*Oryza sativa*), лактозу, каолін, діоксид титану, приблизно 1 % папаїну, а також допоміжні речовини на кшталт діоксиду кремнію та натрію метилпарабену.[4]\_Така концентрація папаїну забезпечує ефективну дію без розвитку сенсибілізації, а сам препарат підходить для всіх типів шкіри, включно з чутливою, атопічною та жирною.[4]\_

Перед застосуванням ензимної пудри рекомендується виконати ретельний аналіз стану шкіри для виявлення можливих протипоказань.[4]\_Далі проводиться попереднє очищення: на шкіру наносять рідкий очищувальний засіб, легкими масуючими рухами видаляють забруднення, після чого змивають його водою, використовуючи марлевий компрес.[4]\_

Сам ензимний пілінг готують шляхом змішування трьох мірок порошку з двома мірками води до отримання кремоподібної текстури.[4]\_Отриману суспензію наносять пензлем на ділянку, що підлягає обробці, рівномірним шаром. Маску-пілінг залишають на шкірі максимум на 15 хвилин, після чого ретельно змивають теплою водою.[4]\_Завдяки ферментативного гідролізу білкових зв'язків у роговому шарі протягом цього часу відбувається розм'якшення й відшарування відмерлих клітин, при цьому дія переважно обмежується поверхневими шарами епідермісу.[4]\_

Доведено, що подібні порошкові ензимні пілінги вважаються «м'якими» процедурами, якщо їх використовувати відповідно до рекомендацій, і можуть

застосовуватися як самостійна процедура або як підготовчий етап перед внесенням інших активних засобів.[4]\_Через зменшення товщини рогового шару та покращення «пластичності» шкіри такі пудри підвищують ефективність подальших етапів догляду, оскільки активні інгредієнти легше проникають крізь оновлений епідерміс.[4]\_

### **Безпека, обмеження та фактори стабільності**

При створенні ферментативних ексфоліантів критично важливими є умови рН, температура та способи стабілізації ферментів у формулі.[3]\_Невірні підібрані параметри можуть призвести до втрати активності ферменту або, навпаки, до надмірної агресивності препарату, що підвищує ризик подразнення й алергічних реакцій.[3]\_

Ензимні пілінги загалом переносяться краще, ніж хімічні, небажані явища все ж можливі: це локальне подразнення, гіперемія чи алергічна реакція.[4] Основними технологічними обмеженнями являються – складність стабілізації ферментів у готовій формі, необхідність збереження їх активності протягом усього терміну придатності та забезпечення відтворюваної дії в умовах реальної експлуатації продукту.

### **1.3 Коротка характеристика папаїну**

Папаїн належить до класу рослинних протеолітичних ферментів – цистеїнових протеаз, які природно утворюються в латексі незрілих плодів папаї (*Carica papaya L.*). Його отримують шляхом надрізання шкірки зелених плодів, збирання латексу, подальшого сушіння та очищення; при цьому особливо важливо, що чим зеленіший плід, тим вища протеолітична активність ферменту.[5],[6] Папаїн характеризується широким спектром дії щодо білків і пептидів, завдяки чому він залишається одним з найважливіших промислових протеаз для харчової, фармацевтичної, косметичної та інших галузей.[5],[6]

Структурно папаїн є глобулярним білком із молекулярною масою близько 23,4 кДа, що складається з 212 амінокислотних залишків.[5],[6] Доведено, що в молекулі наявні три дисульфідні мости, стабілізують третинної структури

ферменту.[5],[6] Фермент має два виразні структурні домени –  $\alpha$ -спіральний та  $\beta$ -листяний, між якими формується щілина, що містить активний центр.[5],[6] До каталізаторно важливих амінокислот відносять Gln19, Cys25, His158 і His159; саме ця комбінація визначає специфіку ферменту й механізм гідролізу пептидних зв'язків.[5],[6]

У папаїну є гідрофобність значної частини амінокислотних залишків, що формують гідрофобне ядро білка. Гідрофобні залишки (аланін, валін, лейцин, ізолейцин, метіонін) переважно занурені всередину молекули, тоді як полярні та заряджені групи розташовані на поверхні, взаємодіючи з водним середовищем.[6]

Папаїн відзначається широким діапазоном рН-стабільності та активності. Фермент залишається функціонально активним у проміжку рН приблизно 3,0–9,0, а оптимальні значення залежать від типу субстрату.[6] Також, папаїн стійкий до підвищених температур і зберігає активність у присутності високих концентрацій сечовини (до 8 М) і навіть 70 % етанолу, що додатково підкреслює його придатність до використання в умовах промислового виробництва та у складі складних багатокомпонентних композицій.[6]

Дія папаїну базується на каталізі гідролізу пептидних зв'язків у білках та пептидах за участю цистеїну в активному центрі.[5],[6] У класичній схемі реакції тіолова група Cys25 виступає нуклеофілом, який атакує карбонільний атом вуглецю пептидного зв'язку, тоді як His159 виконує роль загальної основи, депротонуючи Cys25.[5] Наступні стадії включають формування ковалентного ацил-ензимного комплексу, відщеплення амінного фрагмента субстрату, а потім деацилювання водою з утворенням карбоксильного компонента й відновлення вільного ферменту.[5],[6] Цей механізм дає протеолітичну активність папаїну з переважною орієнтацією на зв'язки, що включають основні амінокислоти, зокрема аргінін і лізин, а також залишки після фенілаланіну.[6]

Більшість ферментів втрачають активність при зберіганні за кімнатної температури або при контакті з ПАР і оліями, які часто присутні в косметичних

та мийних засобах.[5] Щоб підвищити стабільності папаїну використовують різні підходи до модифікації та іммобілізації, зокрема ковалентне або нековалентне зв'язування з полімерними носіями, кон'югація папаїну з декстраном, поліетиленгліколем або глюкозамом збільшує термін збереження активності ферменту.[5] Наприклад глюкозам забезпечував збереження близько 95 % активності папаїну після місяця зберігання за кімнатної температури та при 45 °C, тоді як для PEG та декстрану цей показник складав 27 % та 42 % відповідно.[5]

Іммобілізований фермент може використовуватись багаторазово, при цьому зберігаючи значну частину початкової активності.[5] Це важливо як для біотехнологічних процесів, так і для створення стабільних форм для повільного вивільнення активного ферменту у фармацевтичних або косметичних виробках.

Папаїн активно використовується у промисловості, тмуо що має високу протеолітичну активність, стійкість та можливість масштабного отримання з рослинної сировини. Доведено, що папаїн входить до групи протеаз, які формують близько 60 % глобального ринку промислових ферментів.[5] Найбільша частка споживання припадає на харчову промисловість, де папаїн застосовують для розм'якшення м'яса, покращення консистенції м'ясопродуктів, у пивоварінні, виробництві десертів та інших продуктів.[5],[6]

У фармацевтичній сфері фермент використовують як засіб для поліпшення травлення, компонент препаратів для лікування травм, запальних станів і в стоматології – зокрема у вигляді гелів для хемомеханічного видалення каріозних тканин, де папаїн розщеплює колагенові зв'язки в демінералізованому дентині, не пошкоджуючи здорові тканини.[6] Також застосування папаїну як моделі для розроблення інгібіторів цистеїнових протеаз (наприклад, катепсину L і K), що підкреслює його значення в дизайні нових лікарських засобів.[6]

Косметичні застосування папаїну займають окреме місце. Фермент активно використовується в косметичній промисловості як натуральний протеаза-активний інгредієнт у засобах для делікатного відлущування шкіри,

очищення від білкових забруднень, а також у складі багатокomпонентних формул, де потрібна м'яка контрольована протеолітична дія.[5] Його здатність зберігати активність у широкому діапазоні рН і за наявності ПАР, папаїн є перспективним компонентом для ензимних пілінгів, очищувальних порошків та масок, за умови правильно підібраних систем стабілізації.[5]

Якщо подивитись з боку сировинної бази папаїну. Папая є тропічною культурою, доступною протягом усього року, а високі врожаї латексу роблять можливим рентабельне промислове виробництво ферменту навіть для малих фермерських господарств.[5],[6] Можливо отримати понад 8 г папаїну з одного плоду та до сотень грамів з рослини за сезон, що підтверджує високий потенціал для розширення ринку ферменту.[6]

#### **1.4 Косметичні засоби для обличчя з папаїном**

Папаїн як протеолітичний фермент латексу перспективний компонент для створення косметичних засобів для обличчя з ексфоліювальною та антивіковою дією. Доведено, що безпечні протеолітичні ферменти у складі косметичних формул здатні зменшувати ознаки старіння шкіри, посилювати природні захисні механізми та захищати шкіру від ушкоджень зовнішніми чинниками, насамперед ультрафіолетом. Косметичні композиції з папаїном завдяки ферментативному видаленню рогового шару (*stratum corneum*) полегшують проникнення інших активних інгредієнтів у глибші шари шкіри, що робить папаїн важливим функціональним компонентом саме у засобах для обличчя з антивіковою дією та ефектом м'якого пілінгу [1].

Папаїн разом з іншими біологічно активними речовинами плоду (бета-каротен, вітамін С, інші антиоксиданти) використовується у складі широкого спектра косметичних форм, включаючи маски та скраби для обличчя, де поєднуються ферментативне відлущування, зволоження, вирівнювання тону та зменшення проявів акне та гіперпігментації [2]. Папаїн і хімопапаїн у папайєвих засобах для догляду за шкірою сприяють розкриттю та очищенню пор, м'яко

знімають відмерлі клітини, зменшують запалення та покращують загальний вигляд шкіри обличчя [2].

### **Механізм дії папаїну у засобах для обличчя**

Якщо подивитись з боку дерматокосметології ключова роль папаїну пов'язана з його здатністю селективно гідролізувати білкові зв'язки в роговому шарі епідермісу. Папаїн, на відміну від традиційних хімічних пілінгів (альфа- та бета-гідроксикислот, ретиноїдів), забезпечує видалення надлишку корнеоцитів без значного подразнення живих шарів шкіри, що особливо важливо для чутливих та фотопошкоджених типів шкіри обличчя [1]. Доведено, що ферментативне відлущування папаїном послаблює зв'язки між відмерлими клітинами, тим самим усуваючи тьмянний, сіруватий вигляд шкіри та готуючи її до кращого сприйняття зволожувальних, антиоксидантних та регенерувальних компонентів формули [1].

Також папаїн не лише сприяє видаленню пошкоджених білків у поверхневих шарах, але і здатен впливати на стан колагену у дермі. Зразки, оброблені папаїном, демонстрували дещо вищий вміст колагену, це завдяки здатності ферменту покращувати обмін білків та, опосередковано, підтримувати пружність і еластичність шкіри [7]. Також папаїн позитивно впливає на гідратацію: збільшення концентрації ферменту у модельних системах супроводжувалося підвищенням водоутримувальної здатності та зволоженості рогового шару, що позитивно відбивається на зовнішньому вигляді шкіри обличчя [1].

Ферменти папаїн та хімопапаїн, присутні у папайєвих засобах для шкіри, допомагають м'яко очищати пори, зменшувати прояви акне, вугрових елементів та чорних цяток завдяки видаленню надлишку рогових мас і себуму, які закупорюють протоки сальних залоз [2]. Також систематичне застосування засобів з екстрактами папаї та папаїном сприяє освітленню постзапальних плям, вирівнюванню тону та зменшенню вираженості пігментних плям за рахунок поєднання ексфоліювальної дії та антиоксидантного потенціалу вітаміну С і каротиноїдів [2].

## **Асортимент засобів для обличчя з папаїном**

Сироватки та легкі емульсії для обличчя.

Сироватки для обличчя з вітаміном С та екстрактом «зеленої» папаї, яка позиціонується як легкий засіб для щоденного застосування, що глибоко зволожує шкіру, робить її більш гладкою, пружною та сяйливою без відчуття жирної плівки [2]. Ці ефекти – пом'якшення, підвищення зволоженості, покращення текстури та помірний висвітлювальний вплив пов'язаний із сукупною дією ферментів папаїну, антиоксидантів (вітамін С, лікопен) і вітамінів А та Е, що стимулюють утримання колагену та захист від вільнорадикальних ушкоджень [2].

Маски для обличчя з папаїном.

Маски для обличчя на основі папаї зазвичай поєднують механізм глибокого, але м'якого ексfolіювання з інтенсивним зволоженням. Маски з папайєю описуються як засоби, здатні перетворювати суху, лущену шкіру на більш м'яку, зволожену й сяючу, що пов'язується із присутністю у складі ферментів, вітамінів А і Е та органічних кислот [2]. Папаїн у таких формулах виконує функцію розщеплення білкових зв'язків у роговому шарі, тоді як супутні ліпофільні компоненти та антиоксиданти підтримують бар'єрні властивості та запобігають надмірному пересушуванню шкіри [1; 2].

Ензимні скраби та пілінги для обличчя.

Доведено, що ферментативні ексfolіанти на основі папаїну можуть бути альтернативою кислотним пілінгам, особливо для пацієнтів із фотопшкодженою, чутливою чи тонкою шкірою [1]. На відміну від абразивних скрабів, де відлущування відбувається за рахунок механічного тертя твердих частинок, ензимні пілінги з папаїном забезпечують більш рівномірне розчинення рогових мас без мікротравматизації поверхні шкіри [1]. Такі пілінги та маски з папаїном та хімопапаїном здатні запобігати раннім стадіям акне завдяки регулярному видаленню відмерлих клітин і запобіганню накопиченню продуктів секреції у порах [2].

Очищувальні засоби (гелі, пінки, мила з папаїном). Папайєві продукти здатні м'яко очищати шкіру, одночасно надаючи їй більш рівномірного кольору та «світлішого» вигляду за рахунок зняття поверхневого шару відмерлих клітин і часткового усунення поверхневої пігментації [2]. У такій продукції папаїн зазвичай використовується у нижчих концентраціях, ніж у пілінгах, і виконує допоміжну роль — посилює очищення, але при цьому не викликає вираженого лущення. Доведено, що важливим технологічним аспектом є підтримання рН формули в діапазоні, де активність папаїну зберігається на високому рівні (біля 6, з істотною активністю у межах рН 5–7), при цьому рН готового продукту має залишатися безпечним та комфортним для шкіри обличчя [1].

Антивікові креми та комплексні засоби догляду. Антивіковий потенціал папаїну в обличчєвих засобах, пов'язаний із сукупністю декількох ефектів: ферментативне видалення пошкоджених білків і клітин, підвищення гідrataції рогового шару, опосередкований вплив на колагеновий матрикс дерми та потенційний антиоксидантний захист від впливу УФ-випромінювання [1]. У таких формулах папаїн часто комбінують з іншими біологічно активними компонентами рослинного походження — екстрактами ехінацеї, центели, гінкго білоба, ромашки, алое тощо, що дозволяє одночасно реалізувати протизапальні, заспокійливі та бар'єрні ефекти [1].

### **1.5 Характеристика ензимних пудр для обличчя: види та особливості**

Ензимні пудри, які також називають ензимними пілінгами це - сучасний підхід до ексfolіації та очищення шкіри обличчя. Вони поєднують у собі м'яке механічне та хімічне відлущування, але значно менш агресивні порівняно з традиційними кислотними пілінгами [40]. Особливістю цих продуктів є їхня суха порошкова форма, яка забезпечує високу стабільність ключових активних інгредієнтів ензимів [42]. Стабільність зберігається до моменту, коли продукт активується безпосередньо перед використанням, тобто при контакті з невеликою кількістю води. Після змішування з водою пудра перетворюється на

легку кремоподібну піну або емульсію, яка глибоко, але дуже делікатно очищує пори та видаляє клітини, що ороговіли, допомагаючи вирівняти текстуру та тон шкіри [41].

Основна дія пудри обумовлена протеолітичними ферментами (протеазами), які найчастіше мають рослинне або мікробне походження [41]. Ензими працюють, розщеплюючи білкові зв'язки (десмосоми), що утримують мертві клітини епідермісу на поверхні, дозволяючи їм м'яко відійти [40]. Папаїн відомий своєю потужною відлущувальною здатністю, що робить його чудовим вибором для нормальної та комбінованої шкіри, а бромелайн використовують через його протизапальні властивості, тому він підходить для чутливої або схильної до запалень шкіри [43]. Різноманітність ензимних пудр визначається не тільки видом ензимів, але й допоміжними компонентами, адаптованими під конкретні потреби шкіри. Наприклад: пудри для жирної та проблемної шкіри часто включають абсорбенти, такі як каолін або протизапальні агенти: саліцилову кислоту, щоб ефективно контролювати вироблення шкірного сала та запобігати появі висипань [42]. Рецептури для сухої або чутливої шкіри збагачуються заспокійливими та зволожувальними інгредієнтами, такими як алантоїн або екстракти рослин (наприклад, ромашка), щоб забезпечити комфортне очищення без пересушування [40].

## РОЗДІЛ II МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Характеристика сировини

У доглядовій лінійці для обличчя з папаїном як основним активним компонентом представлено два продукти: ензимна пудра для обличчя та крем для обличчя.

Ензимна пудра для обличчя — це продукт для глибокого очищення (ексфоціації), який працює за принципом біохімічного розчинення, а не механічного зчісування, як це роблять скраби. Основними інгредієнтами є протеолітичні ферменти рослинного походження, найчастіше папаїн або бромелайн. Принцип роботи ензимної пудри: ферменти працюють за принципом ножиць, розщеплюючи пептидні зв'язки в білках кератину. Це делікатно руйнує зчеплення між змертвілими лусочками рогового шару шкіри, полегшуючи їх відлущування без ризику мікротравм, що робить цей метод безпечним навіть для чутливої шкіри з куперозом або акне [34].

Формат саме сухого порошку - не маркетинговий хід, а суворою технологічною необхідністю для збереження дієвості продукту. Справа в тому, що ферменти є білковими структурами, які вкрай нестабільні у водному розчині — вони швидко денатурують і втрачають свою каталітичну активність. Тому, саме відсутність води дозволяє "законсервувати" фермент у стабільному стані протягом тривалого часу. Активація відбувається лише в момент змішування пудри з водою в долонях безпосередньо перед нанесенням, що гарантує шкірі контакт із максимально активною речовиною, чого неможливо досягти у готових рідких засобах [35].

У таблиці 2.1 наведено характеристику основної сировини ензимної пудри з папаїном:

Таблиця 2.1 – Основна сировина ензимної пудри з папаїном

Сировина	Структурна формула	Характеристика
Каолін (біла глина)	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Натуральний адсорбент; поглинає себум, очищує пори, м'яко матує шкіру.
Oryza Sativa Starch (рисовий крохмаль)	$(C_6H_{10}O_5)_n$	Адсорбує надлишки себуму, надає шовковистість, покращує текстуру пудри.
Sodium Bicarbonate (натрій гідрокарбонат)	$NaHCO_3$	Регулює рН, забезпечує легку буферну дію, сприяє очищенню.
Zinc Oxide (не нано)	$ZnO$	Захищає та заспокоює шкіру, має протизапальну та антисептичну дію.
Papain (папаїн)	-	Протеолітичний ензим; м'яко розчиняє ороговілий шар, вирівнює поверхню шкіри.
Bromelain (бромелайн)	-	Підсилює дію папаїну, забезпечує делікатний ензимний пілінг.
Allantoin	$C_4H_6N_4O_3$	Заспокоює, пришвидшує регенерацію, пом'якшує та знімає подразнення.
Panthenol (D-пантенол)	$C_9H_{19}NO_4$	Зволожує, покращує бар'єр шкіри, сприяє загоєнню.
Niacinamide	$C_6H_6N_2O$	Покращує рівність тону, зміцнює бар'єр, зменшує запалення.

Крем для обличчя – це складна дисперсна система, найчастіше емульсія типу «олія у воді» або «вода в олії». Зазначається, що емульсії є термодинамічно

нестабільними системами. Тому, без спеціальних стабілізаторів (емульгаторів) та загусників (полімерів) крем миттєво розшарувався б на воду та жир. Сучасні креми часто мають складну мультиламелярну структуру (рідкі кристали), яка нагадує будову ліпідного бар'єру нашої шкіри, що забезпечує їм високу стабільність і приємну сенсоріку [36].

Основна дерматологічна функція крему — це корекція бар'єрних властивостей рогового шару (Stratum Corneum). Креми працюють за двома механізмами: оклюзія та заміщення ліпідів. Емоленти у складі крему заповнюють простори між відлущеними корнеоцитами, миттєво розгладжуючи поверхню шкіри та відновлюючи її еластичність. Це критично важливо для пацієнтів з atopією або віковою сухістю [37].

Окрім зволоження, крем виступає транспортним засобом для доставки активних молекул (пептидів, ретинолу, вітамінів). Однак шкіра — це бар'єр, створений для того, щоб не пропускати речовини всередину. Тому використовуються додаткові компоненти: такі як гліколі або жирні кислоти. Ці компоненти тимчасово змінюють структуру ліпідного матриксу шкіри, дозволяючи активним компонентам подолати роговий бар'єр і досягти живих клітин епідермісу [38].

Ефективність крему для обличчя залежить від його здатності підтримувати натуральний зволожуючий фактор. Креми, які містять гліцерин, сечовину або амінокислоти, не просто зволожують шкіру, а також впливають на активність ферментів, що відповідають за відлущення омертвілих частинок шкіри. Крем відновлює водний баланс, перезапускаючи природний процес оновлення клітин [39].

У таблиці 2.2 наведено характеристику основної сировини для крему для обличчя з папаїном.

Таблиця 2.2 – Основна сировина крему для обличчя з папаїном

Сировина	Структурна формула	Характеристика
Дистильована вода	$H_2O$	Основний розчинник, водна фаза крему.
Гліцерин	$C_3H_8O_3$	Класичний зволожувач, притягує та утримує воду в шкірі.
Бетаїн	$(CH_3)_3N^+-CH_2-COO^-$	Осмопротектор, зменшує подразнення, утримує вологу.
Пантенол	$HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-NH-CO-CH_2-CH_2-C(CH_3)_2-OH$	Провітамін B <sub>5</sub> , загоює, заспокоює та зволожує шкіру.
Карбомер	$-[CH_2-CH(COOH)]_n-$	Синтетичний загусник і гелеутворювач водної фази.
Ксантанова камедь	$(C_6H_{10}O_5)_n$	Природний полісахарид-загусник, стабілізує емульсію.
Феноксietанол	$HO-CH_2-CH_2-O-C_6H_5$	Консервант широкого спектра дії у водній фазі.
Етилгексилгліцерин	$HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-O-R$ (R – C <sub>8</sub> -ланцюг)	Ко-консервант і пом'якшувач, підсилює дію феноксietанолу.
Масло жожоба	$R-COO-R'$ (суміш воскових естерів)	Рідкий віск, пом'якшує, захищає, не дає важкої жирності.
Каприлові/капринові тригліцериди	$C_3H_5(OOC-R)_3$ , R = C <sub>7</sub> H <sub>15</sub> / C <sub>9</sub> H <sub>19</sub>	Легкий емомент, дає ковзання, не забиває пори.

Продовження таблиці 2.2

Сквалан	$C_{30}H_{62}$	Стабільний ліпід, близький до себуму, відновлює бар'єр.
Легка ефірна олія	$R-COO-R$	Суміш ефірів жирних кислот, легкий емомент/аромат.
Цетеариловий спирт	$C_{16}H_{33}-OH$ і $C_{18}H_{37}-OH$	Жирний спирт, загущує олійну фазу, стабілізує емульсію.
Glyceryl Stearate SE	$HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-O-CO-C_{17}H_{35}$	Емульгатор О/В, поєднує воду й олії, надає «тіло» крему.
Olivem 1000	$R(olive)-COO-(O-R')_n$ (суміш естерів)	Натуральний емульгатор з оливкової олії, формує ламелярні структури.
Папаїн	$-(NH-CHR-CO)_n-$ (поліпептид)	Фермент, м'яко відлущує, розчиняє «склейку» між клітинами рогового шару.
Гіалуронова кислота (низькомолекулярна)	$-[C_{14}H_{21}NO_{11}]_n-$ (Na-сіль)	Потужний зволожувач, зв'язує воду, покращує тургор шкіри.
Молочна кислота	$CH_3-CH(OH)-COOH$	Регулятор рН та м'яка АНА-кислота, підтримує рН ~5-5,5.
Тріетаноламін	$N(CH_2CH_2OH)_3$	Органічна основа, піднімає рН і нейтралізує карбомер для утворення гелю.
Ніацинамід	$C_6H_6N_2O$ (піридин-3-амід)	Водорозчинна форма вітаміну В <sub>3</sub> , вирівнює тон, підсилює бар'єр, зменшує пігментацію й себум.
Алантаїн	$C_4H_6N_4O_3$	Заспокоює шкіру, пришвидшує загоєння, зменшує подразнення та лущення.

Токоферол (вітамін Е)	$C_{29}H_{50}O_2$	Ліпофільний антиоксидант, захищає ліпіди шкіри та компоненти крему від окиснення, підтримує бар'єр.
Екстракт зеленого чаю (EGCG)	$C_{22}H_{18}O_{11}$	Поліфенольний антиоксидант, зменшує оксидативний стрес і запалення, м'яко захищає шкіру від ушкоджень.

## 2.2 Методи дослідження

**Відбір проб** ензимної пудри здійснюють згідко ДСТУ 4764:2007 “Скраби косметичні. Загальні технічні умови”. Партію продукції формують як однорідну за найменуванням та умовами виготовлення, після чого відбирають випадкову вибірку одиниць пакування; Із відібраних одиниць пакування беруть точкові проби, їх об'єднують, ретельно перемішують і отримують загальну пробу для випробувань; при цьому маса або об'єм об'єднаної проби мають бути встановлені в стандарті, проби для мікробіологічних показників відбирають першими і з дотриманням асептики, щоб не внести вторинне забруднення під час подальших органолептичних та фізико-хімічних визначень. [45]

**Визначення водневого показника** проводили потенціометричним методом відповідно до ДСТУ 4764:2007 “Скраби косметичні. Загальні технічні умови”. Вимірювання здійснювали у водній витяжці з масовою часткою продукту 10%.

Для приготування розчину на лабораторних вагах відбирали наважку ензимної пудри масою  $5,00 \pm 0,01$  г у хімічну склянку місткістю 50–100 мл. До наважки додавали 45 мл дистильованої води, попередньо нагрітої до температури 35–40 °С для полегшення диспергування основи. Суміш ретельно перемішували скляною паличкою до отримання однорідної суспензії та

відстоювали протягом 10–15 хвилин до осадження великих скрабуючих частинок, які можуть механічно пошкодити скляний електрод. [45]

Вимірювання проводили за допомогою лабораторного рН-метра, попередньо відкаліброваного за стандартними буферними розчинами. Електродну пару занурювали у підготовлену водну фазу, слідкуючи, щоб мембрана електрода не торкалася осаду абразиву на дні склянки. Показання приладу знімали після встановлення стабільного значення. За результат випробування приймали середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень. [45]

**Визначення зовнішнього вигляду** ензимної пудри проводили органолептичним методом відповідно до вимог ДСТУ 4424:2005 «Засоби косметичні. Правила приймання, відбирання проб та методи органолептичних випробувань». Дослідження здійснювали візуально у приміщенні з допустимим природним або штучним освітленням, що імітує денне світло. [45]

Для проведення аналізу частину об'єднаної проби продукту насипали тонким рівномірним шаром на аркуш щільного білого паперу або на чисту суху скляну пластинку. Візуальний огляд проводили неозброєним оком на відстані 25–30 см. Під час оцінки визначали:

1. Однорідність маси
2. Сипкість
3. Колір.

Зразок вважали таким, що відповідає вимогам нормативної документації (ДСТУ 4764:2007), якщо він мав вигляд однорідної порошкоподібної маси з властивим кольором без сторонніх включень. [45]

**Визначення термостабільності** ензимної пудри проводили шляхом моделювання умов підвищеної температури для оцінки фізичної стабільності сухої форми. Випробування здійснювали відповідно до загальних вимог ДСТУ 4764:2007.

Для проведення аналізу зразки пудри поміщали у скляні бюкси з пришліфованими кришками, заповнюючи їх на 2/3 об'єму. Бюкси зі зразками

витримували у лабораторному термостаті при температурі  $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$  протягом 24 годин. Вибір температурного режиму зумовлений необхідністю перевірки стабільності білкових компонентів (ферментів) та відсутності фазових переходів компонентів (плавлення гранул).

Після завершення термічної експозиції зразки охолоджували до кімнатної температури  $((20 \pm 2) ^\circ\text{C})$  та проводили органолептичну оцінку. Ензимну пудру вважали термостабільною, якщо після випробування:

1. Зберіглася сипучість
2. Незмінність органолептики [45]

## РОЗДІЛ ІІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Розробка рецептури та опис технології косметичних засобів

Перевага ензимної пудри - механізм селективного протеолізу, який відрізняється від дії кислотних пілінгів або абразивних скрабів. Замість механічного зчісування рогового шару, ферменти діють на молекулярному рівні, специфічно розщеплюючи білки щільних контактів, що утримують змертвілі корнеоцити разом. Через це використання ензимної пудри дозволяє досягти рівномірного відлущення шкіри без порушення цілісності живих клітин епідермісу та без провокування запальної реакції [46].

Також перевагою є безводна форма випуску, що вирішує головну проблему біохімії ферментів — їхню нестабільність у водному розчині. У рідких засобах ензими швидко піддаються автолізу або денатурації, втрачаючи активність ще на полиці магазину, тоді як сухе середовище діє як стабілізатор, консервуючи молекулу в нативному стані. Відсутність води запобігає неконтрольованим конформаційним змінам білка, гарантуючи, що активація ферменту відбудеться виключно в момент змішування пудри з водою безпосередньо перед нанесенням, забезпечуючи шкірі контакт із речовиною максимальної каталітичної активності [35].

Рецептуру розробленої ензимної пудри з папаїном наведено у таблиці 3.1:

Таблиця 3.1 - Рецептура ензимної пудри з папаїном

Інгредієнт	Вміст, %	Маса, кг
Рисовий крохмаль	34	34
Каолін	27	27
Натрій гідрокарбонат	10	10
Цинк оксил	6,5	6,5
Папаїн	10	10
Бромелайн	5,5	5,5
Алантаїн	3	3
Пантенол	2	2
Ніацинамід	2	2

Активність ензимної пудри забезпечується високою концентрацією ферментів: 10% папаїну та 5,5% бромелайну. Така кількість забезпечує розщеплення білкових перемичок між роговими лусочками навіть при короткочасній експозиції.

Також ензимна пудра має високу активність через потужний себостатичний та заспокійливий блок - оксидом цинку (6,5%), ніацинамідом (2%) та каоліном (27%). Вміст цинку оксиду на рівні 6,5% наближає цей засіб до аптечних дерматологічних паст. У поєднанні з рисовим крохмалем та каоліном, які фізично адсорбують надлишок жиру, та ніацинамідом, що відновлює бар'єр, ця пудра забезпечує комплексне лікування жирної, проблемної шкіри, маючи її без ефекту пересушування, характерного для спиртових засобів.

Розроблену ензимну пудру для обличчя зображено на рисунку 3.1:



Рисунок 3.1 – Розроблена ензимна пудра

Відповідно до ДСТУ 4764:2007 “Скраби косметичні. Загальні технічні умови” у таблиці 3.2 наведено результати визначення фізико-хімічних показників ензимної пудри:

Таблиця 3.2 - Результати визначення фізико-хімічних показників ензимної пудри з папаїном

Показник	Норма
Зовнішній вигляд	Однорідна сипка речовина без грудочок
Колір	Білий
Запах	Без запаху
Водневий показник	5,9
Термостабільність	Стабільна

Отже, ензимна пудра з папаїном відповідає ДСТУ 4764:2007 “Скраби косметичні. Загальні технічні умови”.

### 3.2 Оптимізація рецептури ензимної пудри з папаїном

Оптимізацію розробленої рецептури здійснювали із застосуванням симплекс-методу планування експерименту. Статистичне опрацювання результатів проводили в програмному пакеті STATISTICA, який використовували для побудови графічних залежностей і визначення рівнянь регресії. Як змінні складові ензимної пудри з папаїном було обрано рисовий крохмаль, папаїн, натрій гідрокарбонат.

Таким чином, для подальших досліджень сформовано 7 експериментальних рецептур ензимної пудри. План-матрицю з факторами у натуральному масштабі наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - План-матриця в натуральному масштабі факторів

Номер	Вміст		
	Рисовий крохмаль	Натрій гідрокарбонат	Папаїн
1	10	0	0

2	0	10	0
3	0	0	10
12	5	5	0
13	5	0	5
23	0	5	5
123	3,34	3,34	3,34

Робочі рецептури дослідних ензимних пудр із зазначеними співвідношеннями компонентів наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Рецептури ензимної пудри з папаїном

Шифр складу	Вміст компонентів, мас.%								
				Основа 90%					
	Рисовий крохмаль	Натрій гідрокарбонат	Папаїн	Рисовий крохмаль Каолін	Цинк оксид	Бромейлайн	Алантоїн	Пантенол	Ніацинамід
1	10	0,00	0,00	34 27	6,5	5,5	3	2	2
2	0,00	10	0,00	34 27	6,5	5,5	3	2	2
3	0,00	0,00	10	34 27	6,5	5,5	3	2	2
12	5	5	0,00	34 27	6,5	5,5	3	2	2
13	5	0,00	5	34 27	6,5	5,5	3	2	2
23	0,00	2,5	2,5	34 27	6,5	5,5	3	2	2
123	1,67	1,67	1,67	34 27	6,5	5,5	3	2	2

Після отримання зразків ензимної пудри за наведеними рецептурами виконали оцінювання їх органолептичних та фізико-хімічних показників. Результати досліджень подано нижче.

### 3.2.1 Дослідження органолептичних показників косметичних засобів

Для оцінювання органолептичних показників (колір, запах, зовнішній вигляд, консистенція та комфорт нанесення на шкіру обличчя) було залучено фокус-групу з 7 осіб. Дослідження проводили із використанням закодованих

зразків із порівнянням із контрольним. Розподіл зразків між учасниками був таким: дегустатор 1 оцінював зразок №1, дегустатор 2 — №2, дегустатор 3 — №3, дегустатор 4 — №4, дегустатор 5 — №5, дегустатор 6 — №6, дегустатор 7 — №7.

Усі випробування здійснювали за стандартних умов у приміщенні з температурою (20±2) °С. Окрім органолептики, додатково визначали споживчі властивості кожного засобу. Результати фіксували за 10-бальною шкалою: 10–9 балів — «дуже приємно», 8–7 — «приємно», 6–5 — «посередньо», 4–3 — «неприємно», 2–1 бал — «погано». У таблиці 3.5 наведено оцінку органолептичних показників ензимної пудри з папаїном:

Таблиця 3.5 - Органолептичні показники ензимної пудри з папаїном

Показник	Дегустатор						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3	Зразок №4	Зразок №5	Зразок №6	Зразок №7
Зовнішній вигляд	Однорідний порошок	Однорідний порошок	Однорідний порошок	Однорідний порошок	Однорідний порошок	Однорідний порошок	Однорідний порошок
Запах	Відсутній	Відсутній	Відсутній	Відсутній	Відсутній	Відсутній	Відсутній
Колір	Білий колір	Бежевий колір	Бежево-жовтий	Білий колір	Бежевий колір	Бежевий колір	Білий колір

Також у таблиці 3.6 наведено результати експертного оцінювання органолептичних показників ензимної пудри з папаїном:

Таблиця 3.6 – Експертне оцінювання органолептичних показників ензимної пудри з папаїном

Критерій	Зразки косметичного засобу						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Зовнішній вигляд	10	9	8	8	9	10	10
Колір	9	9	10	10	9	8	7

Запах	10	8	9	8	8	9	8
Рівень вспінення	10	9	10	8	9	9	7
Гладкість шкіри після нанесення	10	8	8	7	9	7	8

За результатами проведених досліджень побудовано сенсорні профілі органолептичних показників ензимної пудри з папаїном, які представлено на рисунку 3.2.

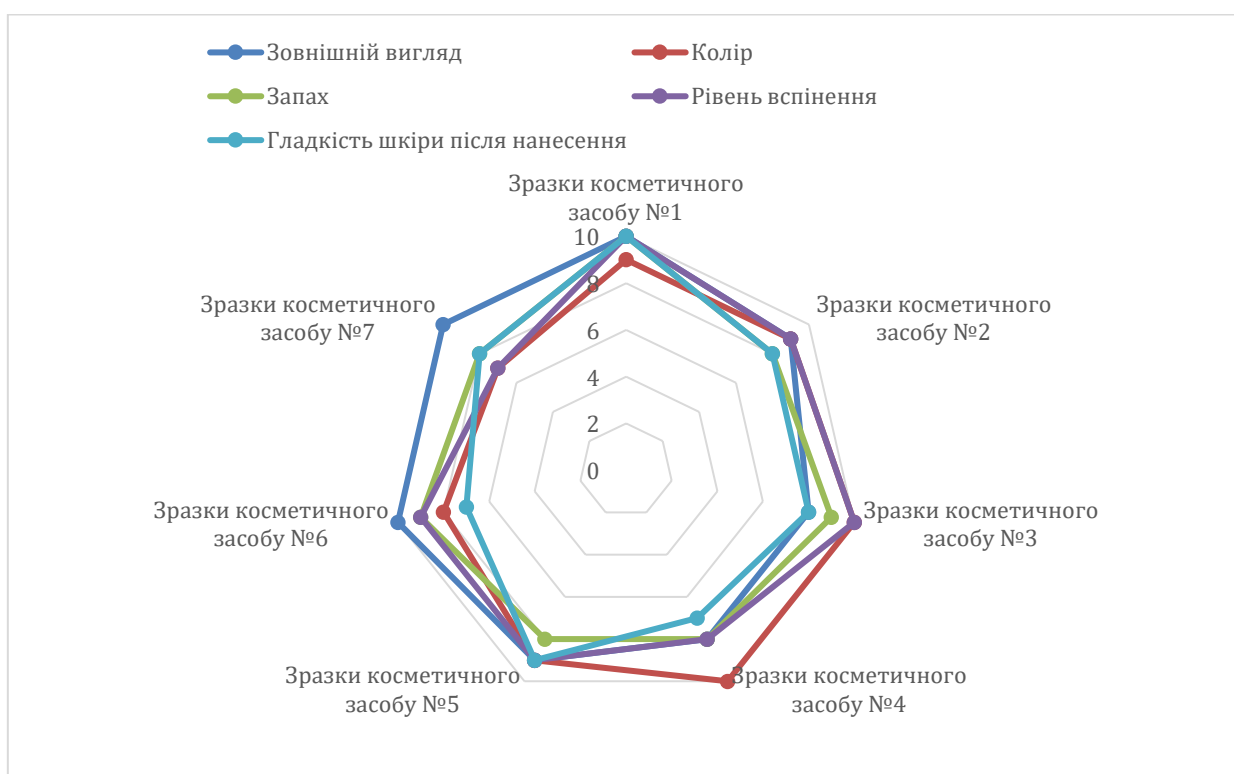


Рисунок 3.2 - Органолептичні показники ензимної пудри з папаїном  
Найкращі показники проявив зразок ензимної пудри під номером 1 за рахунок легкого вспінення та гладкості шкіри після нанесення.

На рисунку 3.3 зображено 7 зразків розробленої ензимної пудри:



Рисунок 3.3 – Розроблені 7 зразків ензимної пудри з папаїном

Для крему для обличчя з папаїном використовували аналогічний перелік показників, як і для ензимної пудри. Оцінювання проводили троє дегустаторів: дегустатор 1 визначав характеристики зразка №3, дегустатор 2 — зразка №1, дегустатор 3 — зразка №2. Результати записували за 10-бальною шкалою: 10–9 балів — «дуже приємно», 8–7 — «приємно», 6–5 — «посередньо», 4–3 — «неприємно», 2–1 бал — «погано». У таблиці 3.7 подано оцінку органолептичних показників крему для обличчя з папаїном:

Показники, описані для ензимної пудри, розглянемо також для крему для обличчя.

Як і у випадку з сироваткою для обличчя: дегустатор 1 оцінював зразок №3, дегустатор 2 — зразок №1, а дегустатор 3 — зразок №2.

Оцінка проводилась за десятибальною шкалою, де 10–9 балів відповідали рівню «дуже приємно», 8–7 — «приємно», 6–5 — «посередньо», 4–3 — «неприємно», а 2–1 бал — «погано».

У таблиці 3.7 наведені органолептичні показники крему для обличчя з папаїном

Таблиця 3.7 - Органолептичні показники крему для обличчя з папаїном

Показник	Дегустатор 1		Дегустатор 2		Дегустатор 3	
	Контрольний зразок	Дослідний зразок	Контрольний зразок	Дослідний зразок	Контрольний зразок	Дослідний зразок
Зовнішній вигляд	Кремозна консистенція без розшарувань	Кремозна консистенція з розшаруваннями	Кремозна консистенція без розшарувань	Рідка кремозна консистенція	Кремозна консистенція без розшарувань	Кремозна консистенція з бульбашками повітря
Запах	Без запаху	Без запаху	Без запаху	Без запаху	Без запаху	Без запаху
Колір	Білий однорідний колір	Білий неоднорідний колір	Білий однорідний колір	Білувато-прозорий колір	Білий однорідний колір	Біло-прозорий однорідний колір

Також у таблиці 3.8 представимо експертну оцінку органолептичних показників якості крему для обличчя з папаїном.

Таблиця 3.8 - Експертна оцінка органолептичних показників якості крему для обличчя з папаїном

Критерій	Зразки косметичного засобу			
	№1	№2	№3	Контроль
Зовнішній вигляд	10	7	6	7
Колір	7	6	5	9
Запах	10	10	9	7
Легкість нанесення	10	10	10	10
Зволоження після нанесення	9	6	7	9
Швидкість поглинання	10	7	6	8

На основі отриманих результатів дослідження були побудовані сенсорні профілі органолептичних показників крему для обличчя з папаїном, які представлені на рисунку 3.4

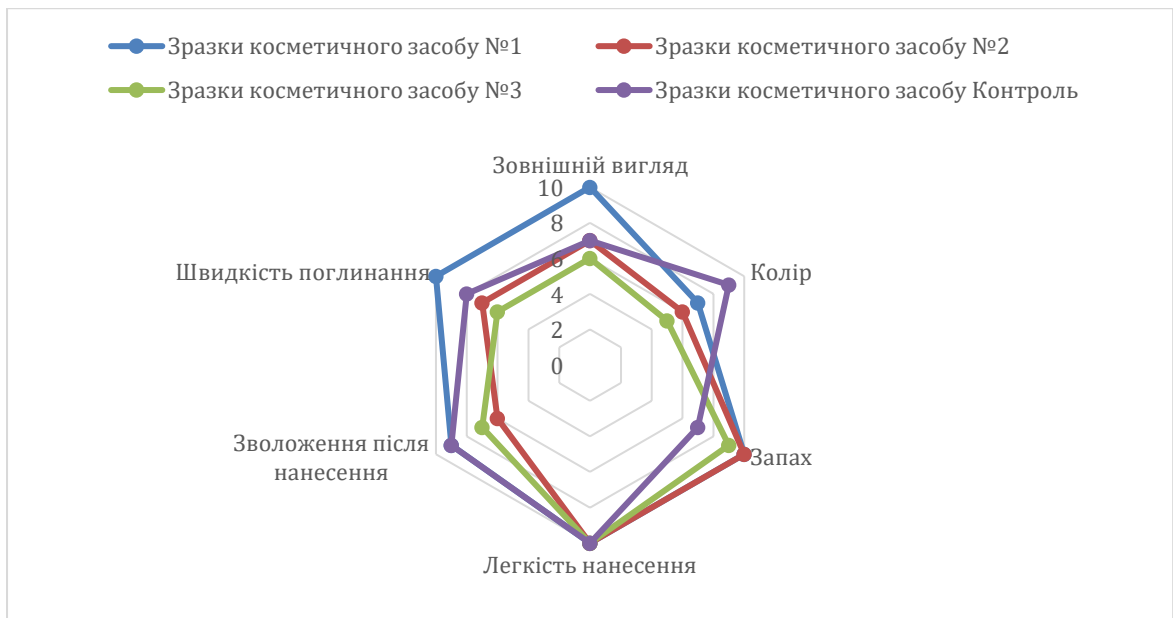


Рисунок 3.4 Сенсорні профілі органолептичних показників крему для обличчя з папаїном

### 3.2.2 Дослідження фізико-хімічних показників ензимної пудри з папаїном

Математичну модель визначення оптимального значення рН ензимної пудри з папаїном подано на рисунку 3.5.

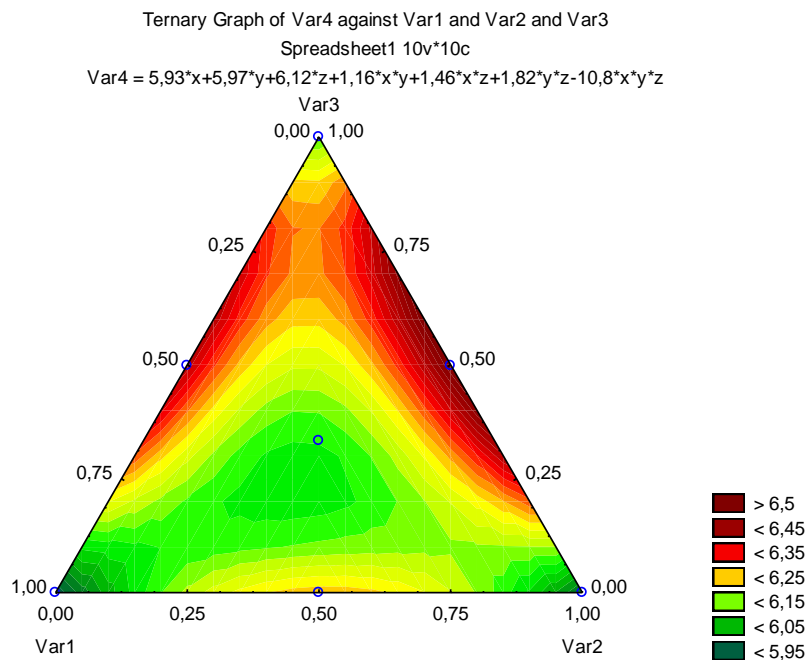


Рисунок 3.5 – Математична модель визначення оптимального значення рН ензимної пудри з папаїном

Введення гідрокарбонату натрію у кількостях більше 6 % значно підвищує показник рН. Отже оптимальним вмістом досліджуваних компонентів є наступний: Рисовий крохмаль 3-10%, натрій гідрокарбонат 2-6 %, папаїн 1,5 - 10%.

### 3.3 Розробка рецептури крему для обличчя з папаїном та дослідження його властивостей

Розроблену рецептуру крему для обличчя з папаїном зображено у таблиці 3.9:

Таблиця 3.9 - Рецептура крему для обличчя з папаїном

Інгредієнт	Вміст, %	Вміст, %	Вміст, %
Дистильована вода	45	43	35
Гліцерин	10	10	10
Бетаїн	10	10	10
Ксантанова камедь	1	1	1
Консервант	1	1	1
Масло жожоба	5	5	5
Каприлові тригліцериди	4	4	4
Ефірна олія	3	3	3
Цетеариловий спирт	3	3	3
Olivem 1000	7	7	7
<b>Папаїн</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>10</b>
Ніацинамід	5	5	5
Гіалуронова кислота	0,5	0,5	0,5
Токоферол	0,5	0,5	0,5
Молочна кислота	За потреби	За потреби	За потреби

Крем для обличчя з папаїном працює як м'яка зволожувально-ензимна емульсія. Водну фазу формують дистильована вода (45 %) у поєднанні з гліцерином і бетаїном (по 10 %), які працюють як сильні зволожувачі, утримують воду в роговому шарі й запобігають стягнутості шкіри. Ксантанова

камедь (1 %) виконує роль загущувача та стабілізатора, надаючи крему приємної, трохи гелеподібної текстури. Консервант (1 %) відповідає за мікробіологічну безпеку засобу протягом усього терміну зберігання.

Жирова фаза представлена маслом жожоба (5 %), додатковим емоментом (4 %) та цетеариловим спиртом (3 %). Вони пом'якшують і розгладжують шкіру, зміцнюють ліпідний бар'єр і зменшують втрату вологи. Emulsifier Olivem 1000 (7 %) забезпечує стабільну O/W-емульсію, завдяки чому крем не розшаровується й добре розподіляється по шкірі. Ефірна олія (3 %) додає приємний аромат і може мати легку функціональну дію залежно від обраного виду.

Ключовий актив — папаїн (5 %) забезпечує м'яку ферментативну ексfolіацію: він делікатно розчиняє зв'язки між відмерлими клітинами, вирівнює рельєф і освітлює тон шкіри без жорсткого пілінгу. Ніацинамід (5 %) підсилює бар'єрну функцію, зменшує почервоніння, допомагає вирівняти тон і має протизапальну дію. Гіалуронова кислота (0,5 %) працює як потужний гідратор, “притягує” воду і надає шкірі пружності, тоді як токоферол (0,5 %) виконує роль антиоксиданту, захищаючи ліпіди шкіри й саму формулу від окиснення. Молочна кислота вводиться “за потреби” для корекції рН до фізіологічних значень, щоб і папаїн залишався активним, і шкіра почувалася комфортно. У підсумку рецептура дає крем, який одночасно зволожує, м'яко оновлює й зміцнює шкіру.

На рисунку 3.6 наведено 3 розроблені зразки крему з папаїном згідно наведеної рецептури:



Рисунок 3.6 – 3 розроблені зразки крему з папаїном

Відповідно ДСТУ 4765:2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови», у таблиці 3.10 представлено результати вимірювання фізико-хімічних показників крему для обличчя папаїном.

Таблиця 3.10 - Результати вимірювання фізико-хімічних показників крему для обличчя папаїном.

Критерій	Зразки косметичного засобу			
	№1	№2	№3	Контроль
Водневий показник (рН)	5,9	5,7	5,8	5,65
Колоїдна стабільність	Стабільна	Стабільна	Стабільна	Стабільна
Термостабільність	Стабільна	Стабільна	Стабільна	Стабільна

Отже, всі зразки косметичних засобів відповідають нормам до встановлених вимог у відповідних ДСТУ 4765:2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови». Найкращим зразком згідно з ДСТУ 4765:2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови» є зразок №2 за рахунок оптимального рН.

### 3.4 Токсикологічний профіль інгредієнтів

Для усіх інгредієнтів ензимної пудри та крему з папаїном був розроблений токсикологічний профіль, який наведено у таблиці 3.11:

Таблиця 3.11 – Токсикологічний профіль інгредієнтів

Компонент	COS-номер	Потенційні наслідки для здоров'я
Дистильована вода	7732-18-5	Є універсальним розчинником, що вважається безпечним і не має відомих потенційних наслідків для здоров'я при зовнішньому застосуванні, оскільки є очищеною від солей, важких металів та мікроорганізмів [7]
Гліцерин	56-81-5	Є добре відомим і широко використовуваним зволожувачем (хумектантом), що вважається безпечним для використання у косметичних засобах завдяки його низькій токсичності та відсутності відомих негативних наслідків для здоров'я при зовнішньому застосуванні [8]
Бетаїн	107-43-7	Багатофункціональна похідна амінокислоти, що використовується як зволожувач та кондиціонер, і визнаний Експертною групою CIR безпечним для використання у косметичних засобах у поточних практиках та концентраціях, за умови, що його формулювання не викликає подразнення [9].
Пантенол	81-13-0	Являється провітаміном В5, що широко використовується як зволожувальний та заспокійливий інгредієнт, і визнаний безпечним для косметичного використання у поточних практиках та концентраціях [10].
Карбомер	9007-20-9	Полімер, що широко використовується як загусник та емульгатор у косметичних засобах

		і вважається безпечним, оскільки, завдяки великій молекулярній масі, він не проникає через шкіру, і навіть при високих концентраціях не спричиняє значних токсичних наслідків [11].
Ксантанова камедь	11138-66-2	Є полісахаридом, що широко використовується як загусник, стабілізатор та емульгатор, і визнана безпечною для косметичного використання, оскільки вона не проникає через шкіру і не демонструє генотоксичності [11].
Феноксіетанол	122-99-6	Консервантом широкого спектру дії, який вважається безпечним для використання у косметичних засобах у концентраціях до 1,0% [12].
Етилгексилгліцерин	70445-33-9	Потенційні наслідки для здоров'я при контактному застосуванні включають ризик виникнення пігментного контактного дерматиту (запалення шкіри, що супроводжується зміною її кольору) та подразнення. [13]
Масло жожоба	61789-91-1	Олія жожоба вважається безпечною для використання у косметиці, оскільки вона має низький рівень токсичності та не викликає фототоксичності або значного подразнення шкіри, хоча алергічні реакції є можливими [14].
Каприлові/капринові тригліцериди	73398-61-5	Каприлові/капринові тригліцериди є інгредієнтом із дуже низьким рівнем токсичності, який визнаний безпечним для використання в косметиці і не викликає значних побічних ефектів, за винятком можливих алергічних реакцій у людей, чутливих до кокосової або пальмової олії [15].
Сквалан	111-01-3	Сквалан вважається безпечним для використання в косметичних продуктах, оскільки він є природним компонентом шкіри, не має токсичності та не викликає подразнення чи сенсibiliзації (алергічної реакції) [16].

Легка ефірна олія	-	Олія може викликати алергічний контактний дерматит та, у рідкісних випадках, фототоксичність (підвищення чутливості до сонця) при зовнішньому застосуванні [17].
Цетеариловий спирт	67762-27-0	Цетеариловий спирт визнаний безпечним для використання в косметиці як емульгатор та загусник, оскільки він має низьку токсичність, не є канцерогеном і не викликає сенсibilізації (алергічних реакцій) у більшості людей [18].
Glyceryl Stearate SE	86403-49-8	Гліцерил стеарат SE (самоемульгуючий) вважається безпечним для використання в косметиці, оскільки він має низьку токсичність, не викликає фотосенсibilізації та не є значним подразником шкіри чи сенсibilізатором [19].
Olivem 1000	—	Емульгатор, отриманий з оливкової олії, вважається безпечним і гіпоалергенним, оскільки він добре сприймається шкірою, має низький потенціал подразнення і є біоміметичним (імітує природні ліпіди шкіри) [20].
Папаїн	9001-73-4	Папаїн, як фермент, використовується в косметиці для відлущування; потенційні наслідки для здоров'я при високих концентраціях або тривалому контакті включають подразнення очей і шкіри та реакції гіперчутливості (алергічні реакції) з боку дихальних шляхів і шкіри [21].
Гіалуронова кислота (низькомолекулярна)	9004-61-9	Низькомолекулярна гіалуронова кислота вважається безпечною, але через її здатність глибоко проникати в шкіру вона може потенційно викликати запалення, подразнення та активувати прозапальні цитокіни, особливо при високих концентраціях, на відміну від високомолекулярної [22].
Молочна кислота	50-21-5	Молочна кислота при використанні в косметиці в високих концентраціях (понад 10%) та при низькому рН може спричинити подразнення, почервоніння, лущення та підвищену фоточутливість (ризик сонячних

		опіків) [23].
Тріетаноламі н	102-71-6	Тріетаноламін вважається безпечним у низьких концентраціях (менше 5% у змивних засобах, менше 2,5% у незмивних), але при вищих концентраціях він може викликати подразнення шкіри та очей, а також утворювати потенційно канцерогенні нітрозаміни при змішуванні з нітруючими агентами [24].
Ніацинамід	98-92-0	Ніацинамід (вітамін В3) вважається безпечним для використання в косметиці; він має низьку токсичність, проте у високих концентраціях може викликати тимчасове почервоніння (ніациновий рум'янець) та незначне свербіння або подразнення шкіри, особливо чутливої [25].
Алантаїн	97-59-6	Алантаїн вважається безпечним для використання в косметиці як заспокійливий інгредієнт; він має низький потенціал токсичності і не викликає подразнення чи сенсibiliзації (алергічних реакцій) при типових концентраціях [26].
Токоферол (вітамін Е)	59-02-9	Токоферол є визнаним безпечним антиоксидантом у косметиці; він має низьку системну токсичність, але у рідкісних випадках може викликати контактний дерматит (алергічну реакцію) та подразнення очей при високих концентраціях [27].
Екстракт зеленого чаю (EGCG)	989-51-5	Екстракт зеленого чаю (особливо EGCG) при зовнішньому застосуванні вважається безпечним і має антиоксидантні властивості; однак, при високих пероральних дозах він може викликати токсичність печінки (гепатотоксичність), а у рідкісних випадках – контактний дерматит при зовнішньому використанні [28].
Каолін (біла глина)	1332-58-7	При зовнішньому застосуванні каолін є безпечним, нетоксичним і не викликає подразнення шкіри; однак, вдихання пилу каоліну у великих кількостях протягом

		тривалого часу може призвести до захворювань легень (пневмоконіоз, або каоліноз) [29].
Oryza Sativa Starch (рисовий крохмаль)	9005-25-8	Рисовий крохмаль вважається безпечним для використання в косметиці; він має низьку токсичність, не викликає подразнення і рідко проковує алергічні реакції, проте його вдихання (особливо у формі пудри) може викликати подразнення дихальних шляхів [30].
Sodium Bicarbonate (натрій гідрокарбонат)	144-55-8	Натрій гідрокарбонат (сода) при зовнішньому застосуванні зазвичай безпечний, але у високих концентраціях може викликати подразнення шкіри, а також порушити природний рН-баланс шкіри, що може призвести до сухості та лущення [31].
Zinc Oxide (не нано)	1314-13-2	Цинку оксид (Zinc Oxide, не нано)   CAS: 1314-13-2 Цинку оксид (не наноформа) вважається безпечним для зовнішнього застосування (особливо у сонцезахисних кремах), оскільки він не проникає глибоко у шкіру та має низьку токсичність, проте вдихання його частинок (наприклад, у формі порошку) може призвести до лихоманки металевих випарів [32].
Bromelain (бромелайн)	9001-00-7	Бромелайн, як протеолітичний фермент, вважається безпечним для зовнішнього застосування в косметиці; проте, при високих концентраціях або на пошкодженій шкірі він може викликати подразнення, почервоніння та контактний дерматит (алергічна реакція) [33].

Отже, можна зробити висновок, що згідно з наведеним токсикологічним профілем косметичних інгредієнтів, всі компоненти розроблених рецептур косметичних засобів є потенційно безпечними і можуть використовуватися у серійному виробництві.

## РОЗДІЛ IV ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Технологія отримання ензимної пудри з папаїном

#### 4.1.1 Опис принципової технологічної схеми отримання ензимної пудри з папаїном

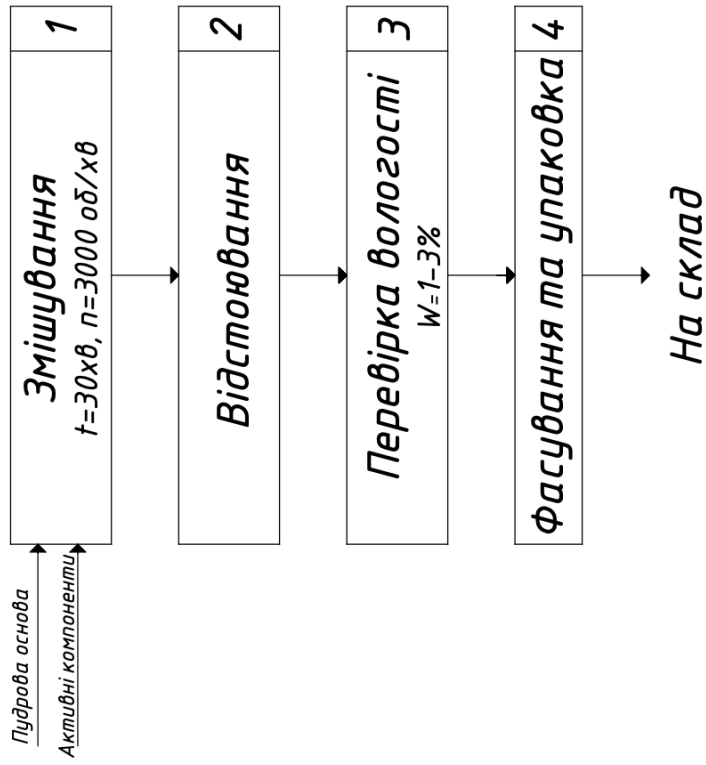
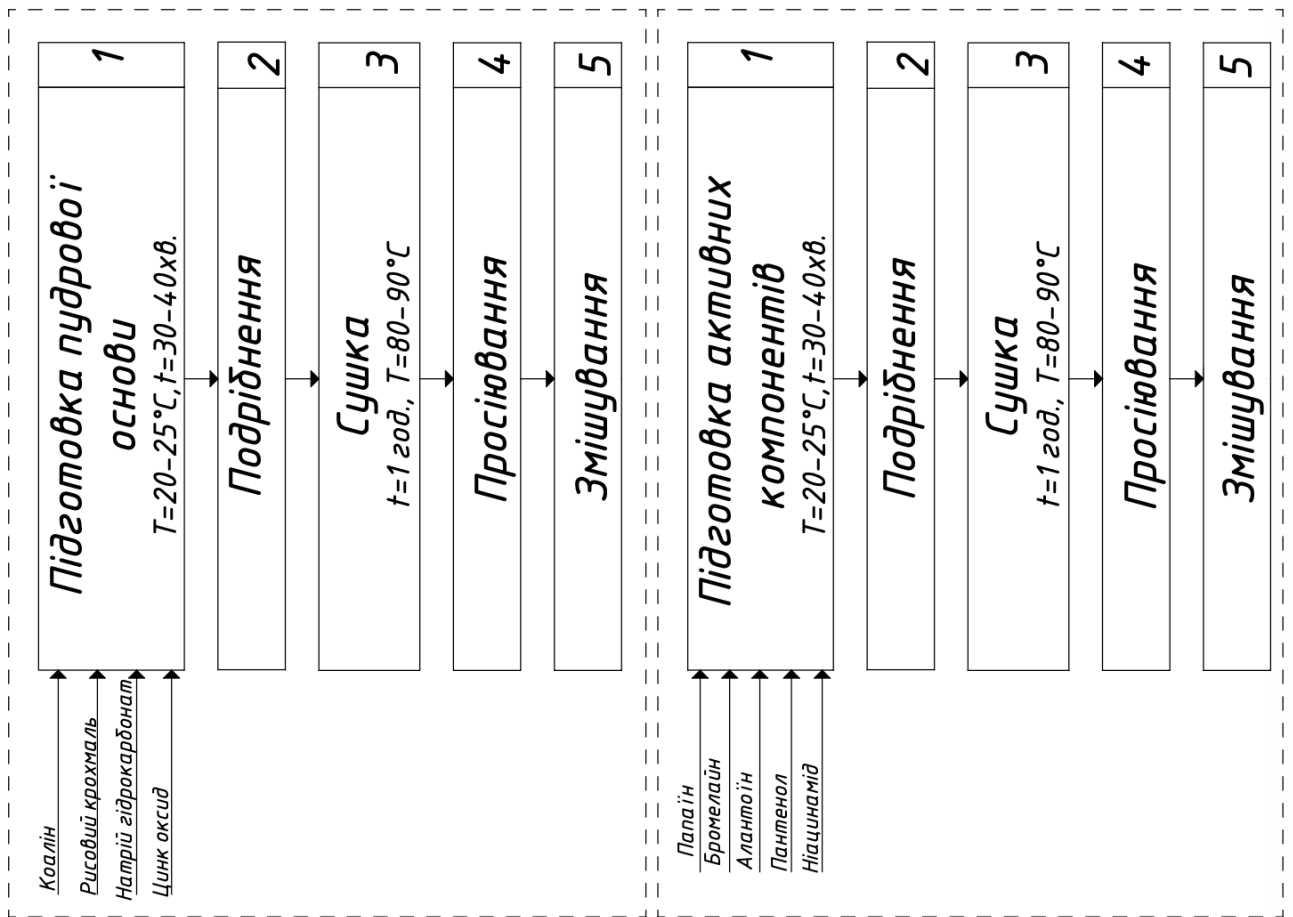
Для виготовлення ензимної пудри процес розпочинається з підготовки пудрової основи, до складу якої входять каолін, рисовий крохмаль, натрію гідрокарбонат та цинк оксид. Зазначені компоненти піддаються попередньому подрібненню, після чого висушуються в сушильній камері при температурі 80–90 °С протягом 60 хвилин. Після завершення сушіння сировину просівають для уніфікації розміру частинок, що забезпечує рівномірність майбутньої суміші. Отриману основу перемішують до досягнення гомогенного складу.

Паралельно готуються активні компоненти: ферментні речовини папаїн і бромелайн, а також алантоїн, пантенол і ніацинамід. Ці компоненти обробляються за аналогічною технологічною схемою: подрібнення, сушка при контрольованій температурі, просіювання та попереднє змішування з метою забезпечення стабільної ензимної активності.

На наступному етапі здійснюється поєднання пудрової основи з активною фазою. Компоненти змішуються у високошвидкісному змішувачі протягом 30 хвилин при швидкості 3000 об/хв, що забезпечує рівномірний розподіл ензимів у загальній матриці пудри. Після завершення змішування продукт відстоюється, що дозволяє частинкам пилу осісти та підвищити чистоту та безпеку продукту при використанні.

Після цього проводиться контроль якості. Визначається рівень рН пудри, який має знаходитися в межах 5,0–6,0, а також вологість, що не повинна перевищувати 3%. За умови відповідності показників нормативним вимогам, продукт направляється на фасування та герметичне пакування з використанням бар'єрних матеріалів. Готова ензимна пудра маркується відповідно до вимог і транспортується на складське зберігання.

Принципово-технологічну схему зображено на рисунку 4.1:



Код документа	Назва документа	Розробник	Перевірив	Схвалено	Дата
НЗХТ_МФ_ТЗХТ_Розробка_0.0	Методика в.в. в.в.в.в.в.в.	Григорук	Григорук	Григорук	01.01.2024
НЗХТ	НЗХТ-2-15М.025.061	НЗХТ-2-15М.025.061	НЗХТ-2-15М.025.061	НЗХТ-2-15М.025.061	01.01.2024

Рисунок 4.1 Принципово-технологічна схема

#### 4.1.2 Розрахунок матеріального балансу

Розрахунок матеріального балансу проводився згідно розробленої рецептури ензимної пудри , що наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Рецептура пудри

Інгредієнт	Вміст, %	Маса, кг
Рисовий крохмаль	34	34
Каолін	27	27
Натрій гідрокарбонат	10	10
Цинк оксид	6,5	6,5
Папаїн	10	10
Бромелайн	5,5	5,5
Алантаїн	3	3
Пантенол	2	2
Ніацинамід	2	2
Разом	100,00	100,00

1. Приготування пудрової основи:

Маса компонентів для пудрової основи:

$$34+27+10+6,5= 77,5 \text{ кг}$$

Витрати під час зважування сировини становлять 1%:

$$77,5 *0,01=0,775 \text{ кг}$$

Витрати під час виробництва 2%:

$$77,5 *0,02= 1,55 \text{ кг}$$

Отже, маса пудрової основи становить:

$$77,5 - 0,775 - 1,55 =75,175 \text{ кг}$$

Отримані значення представлені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Матеріальний баланс приготування пудрової основи

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Рисовий крохмаль	34	Пудрова основа	75,175
Каолін	27	Витрати	2,235
Натрій гідрокарбонат	10		
Цинк оксид	6,5		
Разом	77,5	Разом	77,5

## 2. Подрібнення

Маса компонентів для подрібнення:

75,175 кг

Втрати під час подрібнення сировини становить 1%:

$75,175 * 0,01 = 0,75175$  кг

Отже, маса суміші становить:

$75,175 - 0,75175 = 74,4$  кг

Отримані дані представлені в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Матеріальний баланс подрібнення

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Пудрова основа	75,175	Подрібнена пудрова основа	74,4
		Втрати	0,75175
Разом	75,175	Разом	75,175

## 3. Сушіння

Маса компонентів для сушіння

74,4 кг

Втрати під час сушіння становить 0,5%:

$$74,4 * 0,005 = 0,372 \text{ кг}$$

Отже, маса суміші становить:

$$74,4 - 0,372 = 74 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 - Матеріальний баланс сушіння

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Пудрова основа	74,4	Висушена пудрова основа	74
		Втрати	0,372
Разом	74,4	Разом	74,4

#### 4. Просіювання

Маса компонентів для просіювання

74 кг

Втрати під час просіювання становить 0,5%:

$$74 * 0,005 = 0,37 \text{ кг}$$

Отже, маса суміші становить:

$$74 - 0,37 = 73,63 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 - Матеріальний баланс просіювання

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Пудрова основа	74	Просіяна пудрова основа	73,63
		Втрати	0,37
Разом	74	Разом	74

#### 6. Приготування активних компонентів:

Маса компонентів для активних компонентів:

$$10+5,5+3+2+2= 22,5 \text{ кг}$$

Витрати під час зважування сировини становлять 1%:

$$22,5 * 0,01 = 0,225 \text{ кг}$$

Витрати під час виробництва 2%:

$$22,5 * 0,02 = 0,45 \text{ кг}$$

Отже, маса пудрової основи становить:

$$22,5 - 0,225 - 0,45 = 21,825 \text{ кг}$$

Отримані значення представлені в таблиці 4.6:

Таблиця 4.6 - Матеріальний баланс приготування активних компонентів

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Папаїн	10	Активні компоненти	21,825
Алантаїн	5,5	Втрати	0,675
Пантенол	3		
Ніацинамід	2		
Бромелайн	2		
Разом	22,5	Разом	22,5

## 7. Подрібнення

Маса компонентів для подрібнення:

$$21,825 \text{ кг}$$

Втрати під час подрібнення сировини становить 1%:

$$21,825 * 0,01 = 0,218 \text{ кг}$$

Отже, маса суміші становить:

$$21,825 - 0,218 = 21,607 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.7

Таблиця 4.7 - Матеріальний баланс подрібнення

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Активні компоненти	21,825	Подрібнені активні компоненти	21,607
		Втрати	0,218
Разом	21,825	Разом	21,825

## 8. Сушіння

Маса компонентів для сушіння

21,607 кг

Втрати під час сушіння становить 0,5%:

$21,607 * 0,005 = 0,1$  кг

Отже, маса суміші становить:

$21,607 - 0,1 = 21,507$  кг

Отримані дані представлені в таблиці 4.8

Таблиця 4.8 - Матеріальний баланс сушіння

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Активні компоненти	21,607	Висушені активні компоненти	21,507
		Втрати	0,1
Разом	21,607	Разом	21,607

## 9. Просіювання

Маса компонентів для просіювання

21,507 кг

Втрати під час просіювання становить 0,5%:

$$21,507 * 0,005 = 0,1 \text{ кг}$$

Отже, маса суміші становить:

$$21,507 - 0,1 = 21,407 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.9

Таблиця 2.9 - Матеріальний баланс просіювання

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Активні компоненти	21,507	Просіяні активні компоненти	21,407
		Втрати	0,1
Разом	21,507	Разом	21,507

#### 10. Змішування

Маса компонентів для змішування

$$21,407 + 73,63 = 95,037 \text{ кг}$$

Втрати під час виробництва становить 1%:

$$95,037 * 0,01 = 0,95 \text{ кг}$$

Отже, маса суміші становить:

$$95,037 - 0,95 = 94,087 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.10

Таблиця 4.10 - Матеріальний баланс змішування

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Активні компоненти	21,407	Ензимна пудра	94,087
Пудрова основа	73,63	Втрати	0,95
Разом	95,037	Разом	95,037

## 5.Фасування

Маса компонентів для фасування:

94,087 кг

Втрати під час виробництва становить 1%:

$94,087 * 0,01 = 0,94$  кг

Отже, маса суміші становить:

$94,087 - 0,94 = 93,147$  кг

Отримані дані представлені в таблиці 4.11

Таблиця 4.11 - Матеріальний баланс стадії фасування

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Ензимна пудра	94,087	Фасована ензимна пудра	93,147
		Втрати	0,94
Разом	94,087	Разом	94,087

Отже, зведена таблиця матеріального балансу з урахуванням втрат наведена в таблиці 4.12

Таблиця 4.12 - Матеріальний баланс отримання ензимної пудри з папаїном (розрахунок на 100 кг косметичного засобу)

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Рисовий крохмаль	34	Пудрова основа	75,175
Каолін	27	Витрати	2,235
Натрій гідрокарбонат	10		
Цинк оксид	6,5		
Разом	77,5	Разом	77,5
Матеріальний баланс подрібнення			
Пудрова основа	75,175	Подрібнена пудрова основа	74,4
		Втрати	0,75175

Разом	75,175	Разом	75,175
Матеріальний баланс сушіння			
Пудрова основа	74,4	Висушена пудрова основа	74
		Втрати	0,372
Разом	74,4	Разом	74,4
Матеріальний баланс просіювання			
Пудрова основа	74	Просіяна пудрова основа	73,63
		Втрати	0,37
Разом	74	Разом	74
Матеріальний баланс приготування активних компонентів			
Папаїн	10	Активні компоненти	21,825
Алантаїн	5,5	Втрати	0,675
Пантенол	3		
Ніацинамід	2		
Бромелайн	2		
Разом	22,5	Разом	22,5
Матеріальний баланс подрібнення			
Активні компоненти	21,825	Подрібнені активні компоненти	21,607
		Втрати	0,218
Разом	21,825	Разом	21,825
Матеріальний баланс сушіння			
Активні компоненти	21,607	Висушені активні компоненти	21,507
		Втрати	0,1
Разом	21,607	Разом	21,607
Матеріальний баланс просіювання			
Активні компоненти	21,507	Просіяні активні компоненти	21,407
		Втрати	0,1
Разом	21,507	Разом	21,507
Матеріальний баланс змішування			
Активні компоненти	21,407	Ензимна пудра	94,087
Пудрова основа	73,63	Втрати	0,95
Разом	95,037	Разом	95,037

Матеріальний баланс фасування			
Ензимна пудра	94,087	Фасована ензимна пудра	93,147
		Втрати	0,94
Разом	94,087	Разом	94,087

Отже, вихід готового продукту становить 93,147 кг, а втрати під час виробництва – 6,85 кг. У відсотковому співвідношенні втрати становлять 6,85%.

#### **4.1.3 Опис апаратурної технологічної схеми отримання ензимної пудри з папаїном**

Процес виготовлення ензимної пудри починається з підготовки пудрової основи. У змішувачі **1** здійснюється поєднання попередньо просіяних і висушених компонентів: каоліну, рисового крохмалю, натрію гідрокарбонату та цинку оксиду. Суміш ретельно перемішується до утворення однорідної структури.

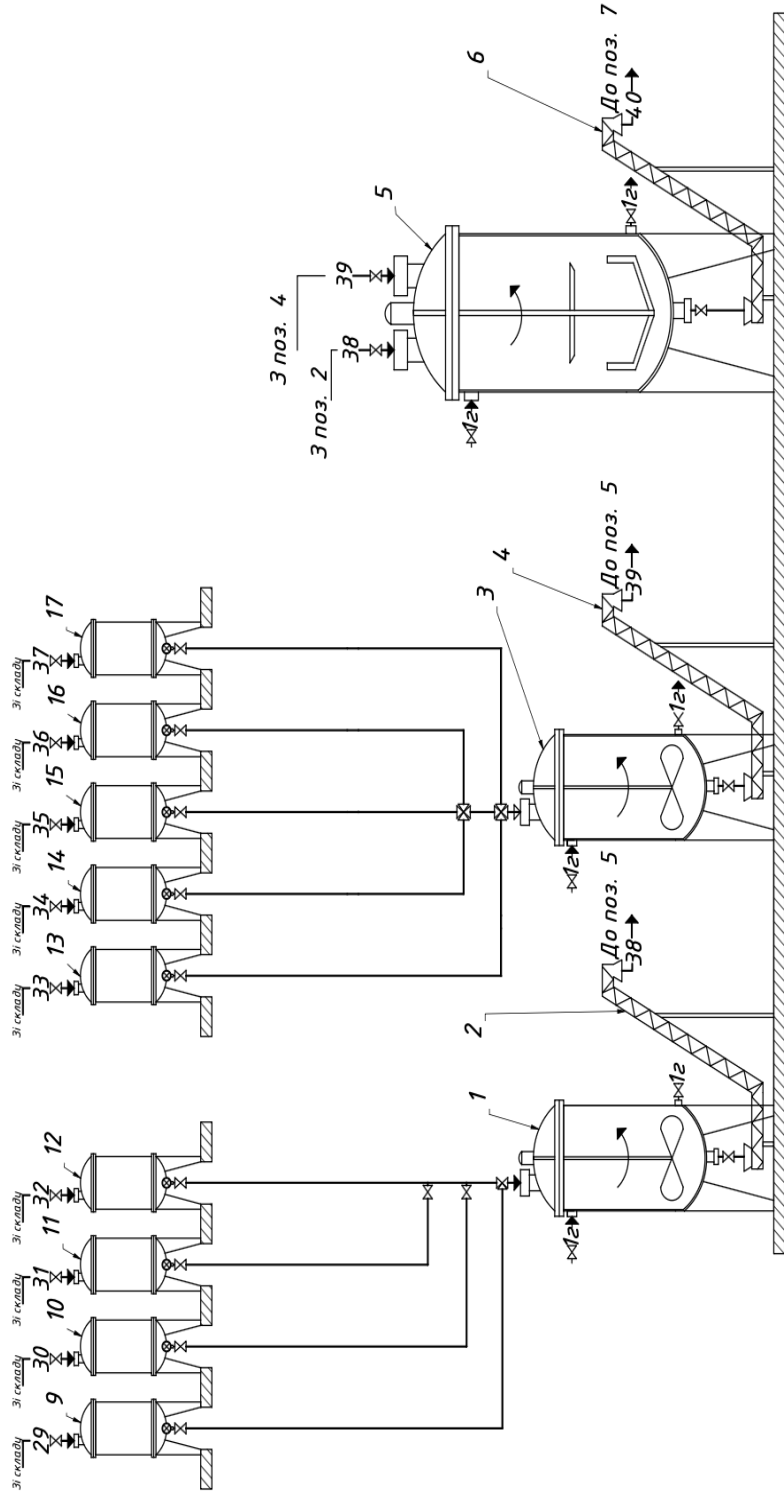
Паралельно у реакторі-змішувачі **2** готуються активні компоненти. До складу активної фази входять папаїн, бромелайн, алантоїн, пантенол і ніацинамід, які також проходять стадії просіювання, висушування та однорідного змішування.

Після завершення підготовчих етапів пудрова основа та активна фаза транспортуються шнековими транспортерами **2** і **4** до реактора-змішувача **5**, де здійснюється їх поєднання. Змішування компонентів відбувається протягом 30 хвилин при швидкості 3000 об/хв. Такий режим забезпечує рівномірний розподіл активних речовин у загальній масі пудри та стабільність кінцевого продукту.

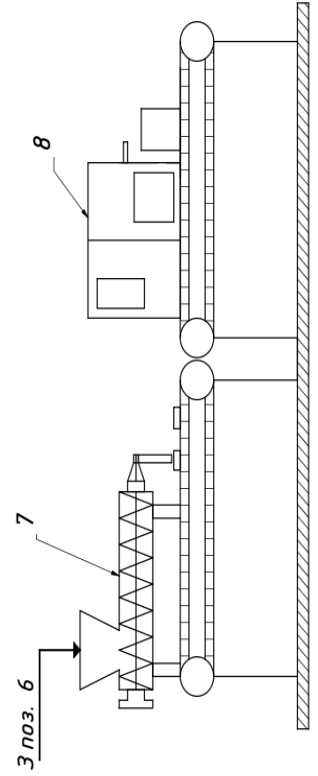
Після завершення змішування проводиться відстоювання пудри з метою осадження залишкового пилу, що сприяє покращенню споживчих характеристик продукту. На цьому етапі виконується контроль якості: визначається реакція середовища (рН), яка має відповідати діапазону 5,0–6,0, а

також перевіряється рівень залишкової вологості — він не повинен перевищувати 3%.

Готову пудру шнековим транспортером **6** транспортують до дозувального пристрою **7**, де відбувається порційне фасування продукту. Далі дозовану пудру направляють до пакувальної машини **8**, де вона герметично упаковується згідно з вимогами до збереження ферментативної активності та бар'єрного захисту від вологи. На завершальному етапі продукт маркується відповідно до нормативів і надходить на складське зберігання. Апаратурно-технологічну схему зображено на рисунку 4.2



1	Назва
	середовища у трубопроводах
	Вода гаряча
	Коалін
	Рисова крохмаль
	Натрій гідроксид
	Цинк оксид
	Палаїн
	Бромелайн
	Алантаїн
	Пантенол
	Ніацинамід
	Пурбова основа
	Активні комп.



9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	Мірник з дозатором
8	Пакувальна машина
7	Дозатор
2, 4, 6	Шнековий транспортер
1, 3, 5	Реактор змішувач
<b>Позиція Найменування</b>	
Розробник: Інженер (Інженер з енергетики)	
НХУТ м.Ф. ТАХТ	
Розроблено в Д. Пасері	
Місце виготовлення: Румунія, Б.Д.	
Відомство: Д. Пасері	
Апаратна температура: Селект	
Технологічна схема: Селект	
Масштаб: поздовжній розріз	
НХУТ	

Рисунк 4.2 Апаратно-технологічна схема

#### **4.2.1 Опис принципової технологічної схеми отримання крему для обличчя з папаїном**

Першим етапом здійснюють підготовку водної фази: змішують дистильовану воду, ксантанову камідь, гліцерин, консервант та пантенол, після чого суміш нагрівають до температури близько 70 °С за безперервного перемішування до однорідного стану. Паралельно готують жирову фазу, до складу якої входять олія жожоба, каприлові тригліцериди, ефірна олія, емульгатор та цетеариловий спирт; цю суміш нагрівають до приблизно 75 °С із наступним ретельним перемішуванням.

На наступному етапі водну та жирову фази емульгують між собою при температурі 65–75 °С упродовж 2–3 хвилин до утворення стабільної емульсії, після чого отриману масу охолоджують до кімнатної температури. Після охолодження вводять активні компоненти — папаїн, ніацинамід, гіалуронову кислоту та комплексний антиоксидант, коригують показник рН до заданого діапазону та здійснюють витримку (дозрівання) крему. Завершальним етапом є фасування готового продукту та його подальше розміщення на складському зберіганні. Принципово-технологічна схема зображена на рисунку 4.3:

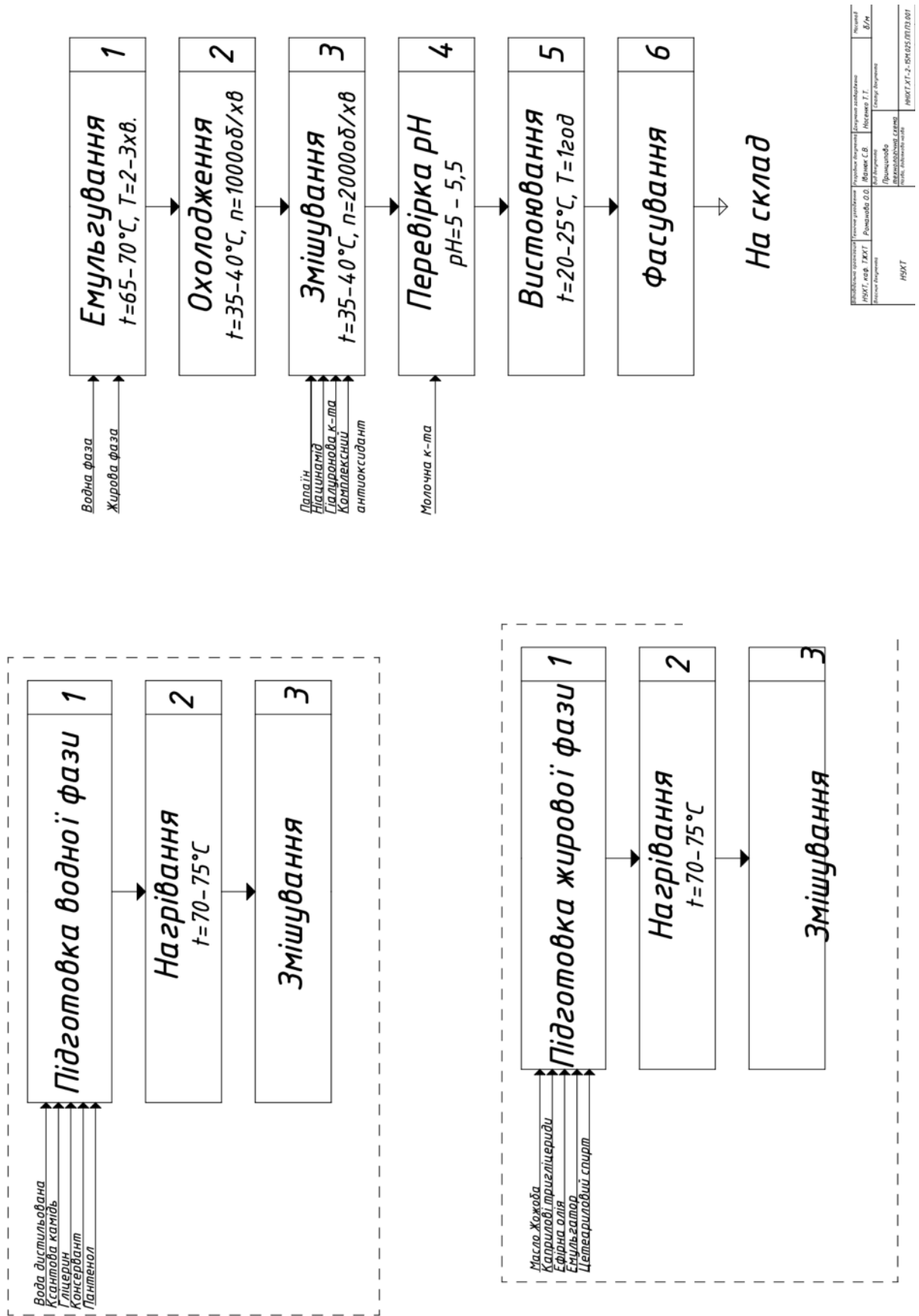


Рисунок 4.3 Принципово-технологічна схема

#### 4.2.2 Розрахунок матеріального балансу

Розрахунок матеріального балансу проводився згідно розробленої рецептури крему для обличчя з папаїном, що наведена в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 - Рецептура крему

Інгредієнт	Вміст, %
Дистильована вода	45
Гліцерин	10
Бетаїн	10
Ксантанова камедь	1
Консервант	1
Масло жожоба	5
Каприлові тригліцериди	4
Ефірна олія	3
Цетеариловий спирт	3
Olivem 1000	7
<b>Папаїн</b>	<b>5</b>
Ніацинамід	5
Гіалуронова кислота	0,5
Токоферол	0,5
Молочна кислота	За потреби

1. Підготовка водної фази:

Маса компонентів для водної фази:

$$45 + 10 + 10 + 1 + 1 = 67 \text{ кг}$$

Витрати під час виробництва 2%:

$$67 * 0,02 = 1,34 \text{ кг}$$

Отже, маса водної фази становить:

$$67 - 1,34 = 65,66 \text{ кг}$$

Отримані значення представлені в таблиці 4.14

Таблиця 4.14 - Матеріальний баланс приготування водної фази

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Вода	45	Водна фаза	65,66
Гліцерин	10	Витрати	1,34
Бетаїн	10		

Ксантанова камедь	1		
Консервант	1		
Разом	67	Разом	67

2 Підготовка жирової фази:

Маса компонентів для жирової фази:

$$5 + 4 + 3 + 3 + 7 = 22 \text{ кг}$$

Витрати під час виробництва 2%:

$$22 * 0,02 = 0,44 \text{ кг}$$

Отже, маса жирової фази становить:

$$22 - 0,44 = 21,56 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.15

Таблиця 4.15 - Матеріальний баланс приготування жирової фази

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Масло жожоба	5	Жирова фаза	21,56
Каприлові тригліцериди	4	Витрати	0,44
Ефірна олія	3		
Цетеарилловий спирт	3		
Емульгатор	7		
Разом	22	Разом	22

3. Емульгування

Маса компонентів для емульгування

$$21,56 + 65,66 = 87,22 \text{ кг}$$

Витрати під час виробництва 2%:

$$87,22 * 0,02 = 1,74 \text{ кг}$$

Отже, маса суміші становить:

$$87,22 - 1,74 = 85,47 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.16

Таблиця 4.16 - Матеріальний баланс емульгування

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Водна фаза	65,66	Емульсія	85,47
Жирова фаза	21,56	Втрати	1,74
Разом	87,22	Разом	87,22

## 4. Змішування

Маса компонентів для змішування

$$85,47 + 5 + 5 + 0,5 + 0,5 = 96,47 \text{ кг}$$

Витрати під час виробництва 2%:

$$96,47 * 0,02 = 1,92 \text{ кг}$$

Отже, маса суміші становить:

$$96,47 - 1,92 = 94,54 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.17

Таблиця 4.17 - Матеріальний баланс змішування

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Емульсія	85,47	Пудрова основа	94,54
Папаїн	5	Витрати	1,92
Ніацинамід	5		
Гіалуронова кислота	0,5		
Токоферол	0,5		
Разом	96,47	Разом	96,47

## 5. Фасування

Маса компонентів для фасування:

$$94,54 \text{ кг}$$

Втрати під час виробництва становить 1%:

$$94,54 * 0,01 = 0,94 \text{ кг}$$

Отже, маса суміші становить:

$$94,54 - 0,94 = 93,6 \text{ кг}$$

Отримані дані представлені в таблиці 4.18

Таблиця 4.18 - Матеріальний баланс стадії фасування

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Крем	94,54	Фасований крем	93,6
		Втрати	0,94
Разом	94,54	Разом	94,54

Отже, зведена таблиця матеріального балансу з урахуванням втрат наведена в таблиці 4.18

Таблиця 4.18 - Матеріальний баланс отримання крему з папаїном (розрахунок на 100 кг косметичного засобу)

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Вода	45	Водна фаза	65,66
Гліцерин	10	Витрати	1,34
Бетаїн	10		
Ксантанова камедь	1		
Консервант	1		
Разом	67	Разом	67
Матеріальний баланс приготування жирової фази			
Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Масло жожоба	5	Жирова фаза	21,56
Каприлові тригліцериди	4	Витрати	0,44
Ефірна олія	3		
Цетеариловий спирт	3		
Емульгатор	7		
Разом	22	Разом	22
Матеріальний баланс емульгування			
Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Водна фаза	65,66	Емульсія	85,47
Жирова фаза	21,56	Втрати	1,74
Разом	87,22	Разом	87,22
Матеріальний баланс змішування			

Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Крем	94,54	Фасований крем	93,6
		Втрати	0,94
Разом	94,54	Разом	94,54
Матеріальний баланс стадії фасування			
Прихід		Витрати	
Стаття приходу	К-сть, кг	Стаття приходу	К-сть, кг
Крем	94,54	Фасований крем	93,6
		Втрати	0,94
Разом	94,54	Разом	94,54

Отже, вихід готового продукту становить 93,6 кг, а втрати під час виробництва – 6,2 кг. У відсотковому співвідношенні втрати становлять 6,2%.

#### **4.2.3 Опис апаратурної технологічної схеми отримання крему для обличчя з папаїном**

На першій стадії здійснюють формування водної фази: у реакторі-змішувачі 1 поетапно завантажують дистильовану воду, ксантанову камідь, гліцерин, консервант та пантенол, після чого суміш нагрівають до  $\approx 70$  °C за умови безперервного перемішування до досягнення однорідної консистенції. Паралельно в реакторі-змішувачі 3 формують жирову фазу, до складу якої входять олія жожоба, каприлові тригліцериди, ефірна олія, емульгатор та цетеариловий спирт; компонентну суміш нагрівають до близько 75 °C з інтенсивним перемішуванням. Сформовані водну та жирову фази за допомогою вакуумних насосів 2 та 4 подають до реактора-змішувача 5.

На наступному етапі в реакторі-змішувачі 5 здійснюють емульгування водної та жирової фаз при температурі 65–75 °C упродовж 2–3 хв до утворення стабільної емульсійної системи, після чого масу охолоджують до кімнатної температури. На стадії охолодження послідовно вводять активні інгредієнти — папаїн, ніацинамід, гіалуронову кислоту та комплексний антиоксидант, проводять коригування показника рН до нормативного діапазону та

забезпечують витримку (дозрівання) крему. Далі готову кремову масу вакуумним насосом 6 подають до дозувального пристрою 7. Завершальний етап технологічного процесу охоплює фасування продукту на пакувальній машині 8 та його подальше розміщення на складському зберіганні. Апаратурно-технологічна схема зображена на рисунку 4.4:

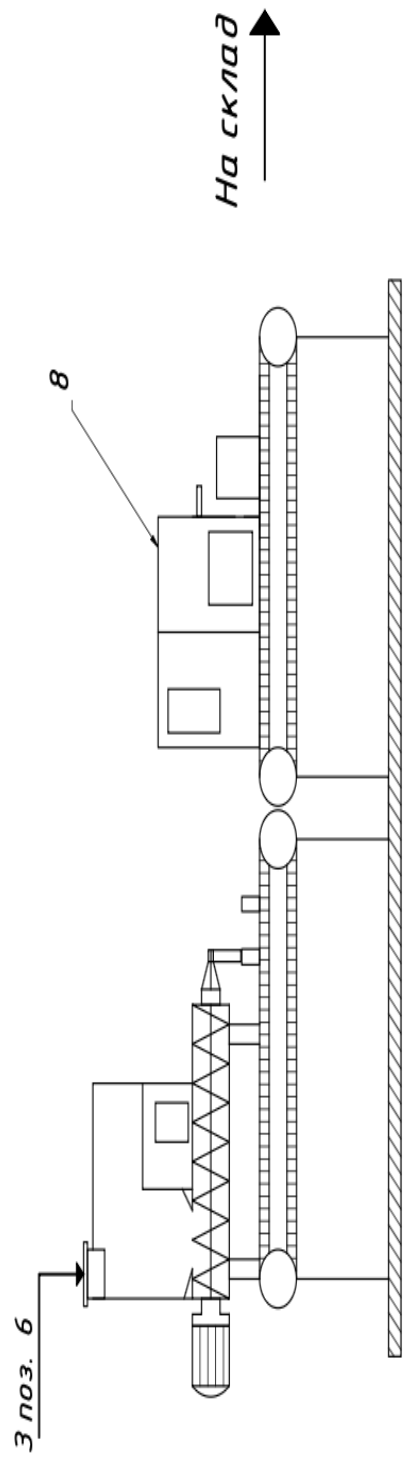
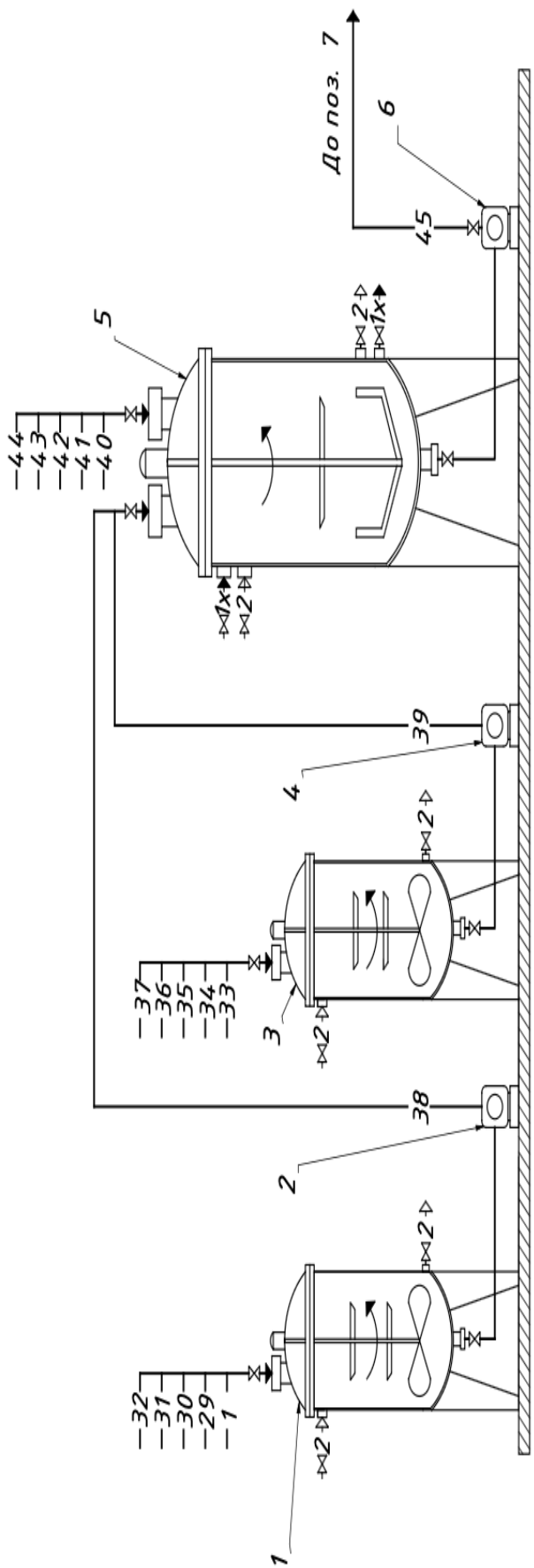


Рисунок 4.4 Апаратурно-технологічна схема

### 4.3 Підбір основного обладнання

Реактор-змішувач є ключовою одиницею апаратурно-технологічної схеми у виробництві ензимної пудри, особливо при роботі з багатокомпонентними сухими системами, які включають як неорганічні речовини, так і чутливі до умов навколишнього середовища біологічно активні ферменти. За своїм призначенням він виконує функцію фізико-хімічного уніфікування рецептурних інгредієнтів, забезпечуючи просторово-часову однорідність суміші при збереженні структурної стабільності й активності цільових сполук. У контексті виготовлення ензимної пудри з папаїном та бромелайном реактор-змішувач забезпечує не лише механічне змішування фаз, але й контроль за рівнем вологи, електростатичним станом системи, частковою дегазацією порошкових фракцій і запобіганням локальній термічній деградації термолабільних речовин.

З точки зору хімічної інженерії, змішування у такому реакторі не є реакцією в класичному розумінні, тобто утворення нових хімічних сполук за участю реагентів. Натомість процес відбувається в межах фізико-хімічної взаємодії твердих речовин, молекулярної адсорбції, когезії та фрикційного контакту між мікрочастинками. Реактор працює в умовах, коли відсутня рідка фаза, і тому всі явища відбуваються за механізмами міждотільної масообмінної взаємодії, що включає гравітаційні сили, сили ван дер Ваальса, електростатичні поля й, за потреби, використання антислежуючих агентів. Наприклад, при перемішуванні каоліну, рисового крохмалю та цинку оксиду можуть виникати зони агрегації частинок, які мають схильність до утворення агломератів. Завданням змішувача є зруйнування таких агрегатів без втрати активної поверхні або структури кристалів.

У процесі введення ензимних компонентів (папаїну, бромелайну) особливо важливим є підтримання стабільного мікроклімату усередині реактора. Ці білкові структури мають складну третинну і четвертинну просторову конфігурацію, яка може втрачати активність унаслідок механічного стресу, нагрівання внаслідок тертя або локальної вологості. Тому стінки

реактора виготовляються з інертних до ферментів матеріалів (полірована нержавіюча сталь AISI 316L), а лопатевий змішувальний механізм забезпечує турбулентне, але рівномірне перемішування без створення надлишкового тиску. Частота обертання мішалки підтримується в межах до 3000 об/хв, що відповідає режиму диспергування без порушення поверхневої структури гранул.

Пилоподібні фракції (особливо сода, крохмаль і мікронізовані форми оксидів) створюють ризик запиленості середовища, що може впливати на рівновагу вологи в реакторі та активність ферментів. У таких умовах важливим аспектом є динамічне балансування газової фази над сумішшю — часто реактори обладнані вакуумними клапанами або системами м'якої дегазації, що дозволяє знижувати внутрішній тиск та уникати зволоження активної маси. У середовищі низької відносної вологості зменшується ризик гідролітичної денатурації ферментів, особливо папаїну, який є сульфгідрильною протеїназою, чутливою до окиснення і деструкції у присутності води або іонів металів.

Характерною ознакою змішування в такому реакторі є відсутність видимих хімічних змін — колір, запах, форма й консистенція речовин залишаються відносно сталими. Проте на молекулярному рівні відбувається формування композитної системи, в якій активні речовини, наприклад папаїн і ніацинамід, можуть мати спільне зональне розташування на поверхні частинок носія. В умовах достатньо тривалого перемішування (30 хвилин і більше) забезпечується статистично рівномірний розподіл мікрокомпонентів у загальній масі, що критично важливо для дозованої дії засобу після активації водою. Таким чином, реактор-змішувач стає не просто фізичним об'ємом для об'єднання компонентів, а середовищем для формування функціональної системи з рівномірним профілем біоактивності.

Окрему увагу необхідно приділити впливу тертя під час обертання змішувального механізму. Хоча в системі відсутній нагрівальний елемент, внаслідок механічного контакту поверхонь може виникати локальне підвищення температури. Це особливо небажано для бромелайну, який у

сухому стані втрачає активність вже при температурі понад 50 °С. Тому конструктивно реактор має систему контролю температури (пасивне або активне охолодження) та щільне ущільнення вузлів, які запобігають проникненню повітря ззовні. У разі необхідності можливе введення інертного газу (наприклад, азоту) для створення інертного середовища над порошком, що ще більше знижує ризик окислення білкових структур.

Після завершення змішування вся маса піддається короткочасному відстоюванню прямо у змішувачі або суміжному бункері. Це дає змогу осадити пилоподібні фракції та зменшити ризик інгаляційного подразнення при подальшому фасуванні. Також у цей момент можна відібрати пробу для визначення таких параметрів, як вологість, сипучість, рН (після моделювання водної суспензії) та стабільність активних компонентів у реальних умовах експлуатації. Вміст реактора далі надходить до системи дозування через вакуумну лінію або шнековий транспортер, однак саме в реакторі-змішувачі відбувається головне — перетворення розрізнених інгредієнтів на цілісну, функціональну, високоефективну суміш.

Вакуумний насос у технологічному процесі виробництва ензимної пудри з біологічно активними інгредієнтами виконує низку критичних функцій, пов'язаних із переміщенням порошкових мас, контролем вологості, а також забезпеченням стабільності чутливих до окиснення компонентів, зокрема ферментів. Його роль не обмежується лише транспортуванням речовин між апаратами, а включає також формування контрольованого середовища з пониженим тиском, що безпосередньо впливає на фізико-хімічні характеристики оброблюваних сумішей.

У виробничому циклі вакуумний насос застосовується для делікатного переміщення порошкової сировини від змішувачів або реакторів до дозувального обладнання. Основна вимога до такого переміщення — уникнення надмірного механічного впливу на порошок, запобігання тертю та компресії, які можуть призвести до перегріву або агломерації частинок. З огляду на те, що у складі пудри містяться ферменти, які легко деактивуються

при дії температур або підвищеної вологи, вакуумне транспортування дозволяє зменшити контакт суміші з атмосферним повітрям, що мінімізує ризик окислення, гідратації або мікробного забруднення. Така ізоляція досягається шляхом створення зони розрідженого тиску, де рух речовини відбувається не завдяки механічному проштовхуванню, а через різницю тисків між джерелом і приймальним бункером.

З хімічної точки зору вакуумна система дозволяє підтримувати знижений парціальний тиск водяної пари в оточенні порошку. Це особливо актуально для запобігання гігроскопічному поглинанню вологи рисовим крохмалем, натрієм гідрокарбонатом і алантоїном. Під час проходження через трубопровід суміш не контактує з конденсатами, не накопичує вологу, не утворює злиплі грудки та не втрачає сипучість. Такий режим транспортування зберігає електростатичну стабільність частинок і запобігає утворенню пилового аерозолю, що критично важливо при роботі з тонкодисперсними речовинами та легколетючими ферментативними частинками.

Конструкція вакуумного насоса зазвичай включає мембранно-пластинчастий або роторно-пластинчастий механізм, де обертові елементи створюють низький тиск в приймальній камері, втягують порошок у систему, а потім переправляють його далі без застосування додаткової компресії або вібрації. Важливим елементом є наявність сепараційного фільтра, який відділяє залишковий пил і захищає насос від зносу або блокування. При роботі з ензимними продуктами конструкція насоса має бути виготовлена з матеріалів, стійких до ферментної дії та корозії — зазвичай це хімічно пасивні полімери або полірована нержавіюча сталь.

Підтримання вакууму також виконує роль підготовки до наступного технологічного етапу — фасування. Адже порошок, що надходить до дозатора, має бути повністю сухим, стабільним за структурою і неелектризованим. Наявність вакууму виключає контакт з киснем, завдяки чому папаїн і бромелайн залишаються в активній формі до моменту активації на шкірі. Більше того, при вакуумному переміщенні зменшується турбулентність потоку, отже,

уникається механічне розшарування суміші та втрата рівномірності розподілу активних речовин у загальній матриці продукту.

Ще одним важливим аспектом є те, що вакуумні насоси забезпечують санітарно-технічну безпеку виробництва. Вони унеможливають розпилення порошкових фракцій у виробничих приміщеннях, мінімізуючи ризик інгаляційного впливу на персонал і перехресного забруднення між партіями продукції. За рахунок повністю замкненого транспортувального контуру і фільтраційного бар'єру вакуумне транспортування відповідає вимогам GMP і HACCP.

Дозатор у виробництві ензимної пудри з біологічно активними компонентами виконує ключову функцію точного відмірювання порошкової маси перед пакуванням, забезпечуючи однорідність, відповідність рецептурним нормам та відповідність вимогам до дозованої лікарської або косметичної продукції. Його робота критично важлива для дотримання стабільного дозування активних речовин — зокрема папаїну, бромелайну, ніацинамідну — які повинні потрапляти до споживача в ефективній, але безпечній концентрації.

З технічного погляду дозатор є апаратом, який працює з високодисперсними сипучими речовинами. Він обладнаний механізмом прецизійного подавання, що забезпечує стабільність маси кожної порції пудри незалежно від щільності, сипучості, вологості та електростатичних властивостей конкретної партії. З огляду на особливості компонентного складу, деякі інгредієнти (наприклад, натрій гідрокарбонат або крохмаль) можуть проявляти гігроскопічність або злипання, а ферменти (папаїн, бромелайн) — чутливість до нагріву, механічного стиснення й тертя. Саме тому конструкція дозатора не передбачає тиску, високої швидкості або жорсткого фрикційного контакту.

У дозаторі відбувається регульоване надходження порошкової суміші з проміжного накопичувального бункера (який, своєю чергою, заповнюється вакуумним насосом із реактора-змішувача). Основними діючими органами дозатора можуть бути шнек, вібраційна лійка або гравітаційна заслінка — вибір

залежить від фізико-механічних характеристик порошку. У більшості випадків у виробництві ензимної пудри використовується шнековий дозатор із можливістю точної калібровки масової порції. Шнек обертається з точно визначеною кількістю обертів, що дозволяє відміряти, наприклад, рівно 1,00 г або 2,50 г суміші для кожного пакування.

З хімічної точки зору, головною вимогою до дозатора є запобігання порушенню цілісності активних речовин. Ферменти, що входять до складу пудри, є білковими структурами з трьохвимірною конфігурацією, які можуть бути денатуровані при механічному впливі. Дозатор повинен забезпечувати м'яке, рівномірне подавання без перегріву. Тому конструктивно важливо, щоб матеріали поверхонь, з якими контактує порошок, були інертними (харчова нержавіюча сталь, полімери класу POM або PTFE), а поверхня — гладкою для уникнення залипання частинок.

Контроль маси кожної дози забезпечується електронними вагами або об'ємною системою із калібруванням, що регулюється в межах  $\pm 1-2\%$  від номінального значення. Це критично важливо для стабільності продукту — навіть невелике відхилення може призвести до зниження ефективності або перевищення допустимої концентрації активної речовини. Особливо це стосується ніацинаміду, при надлишку якого можливе подразнення шкіри, або папаїну — ензиму, який має виражену протеолітичну дію.

Крім точного дозування, важливою функцією дозатора є збереження сипучості порошку протягом усього циклу. Для цього в апарат можуть бути вбудовані вібраційні елементи або розпушувачі, які запобігають утворенню «містків» і застою порошку. Також важливо забезпечити герметичність вузлів, аби уникнути потрапляння пилу в атмосферу виробничого середовища та забезпечити санітарну безпеку відповідно до стандартів GMP та ISO 22716.

Після формування дози порошок автоматично або вручну передається в пакувальну одиницю. Для мінімізації втрат і перехресного забруднення апарат обладнується клапанами з відсіченням потоку після кожного циклу, а внутрішні поверхні легко очищуються. Також можливо застосування інертного газового

середовища (наприклад, азотної продувки), якщо до складу пудри входять окисно-чутливі речовини.

## РОЗДІЛ V РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Виробництво ензимної пудри не вимагає складного або дорогого технологічного оснащення — достатньо стандартного набору для обробки сипучих компонентів: змішувачів, вакуумного транспорту, дозаторів, фасувально-пакувального обладнання. Це забезпечує зниження первинних інвестицій у виробничу лінію.

З технічного боку, виробництво не потребує складних термохімічних процесів, високотемпературної обробки або використання небезпечних реагентів, що значно спрощує дотримання вимог санітарно-гігієнічної безпеки та норм екологічного контролю. Уся технологічна схема побудована за принципом «сухого виробництва» з коротким циклом і низьким енергоспоживанням. Основна енергія витрачається на роботу змішувача (близько 1 кВт на 30 хв на партію), вакуумної системи транспортування та пакувального обладнання, що в сумі не перевищує 2–3 кВт·год на виробництво 1 кг готової продукції.

Щодо сировини, то основні носії — каолін, рисовий крохмаль, натрій гідрокарбонат, оксид цинку — є масовими продуктами з широким постачанням на українському ринку. Більшість із них постачаються з внутрішніх підприємств або країн ЄС. Ферментні препарати (папаїн, бромелайн) та допоміжні компоненти (алантоїн, D-пантенол, ніацинамід) імпортуються, проте доступні в косметичній або фармацевтичній якості через дистриб'юторів. При розрахунковій вартості сировини вартість виробництва за умов оптової закупівлі може бути знижена в 2–2,5 рази, що забезпечує маржинальність навіть для малого виробника.

Собівартість однієї одиниці готового продукту з урахуванням вартості сировини, електроенергії, амортизації обладнання, витрат на пакування (банка, етикетка, ложечка), заробітної плати персоналу та логістики становить орієнтовно Це свідчить про високий потенціал прибутковості з рентабельністю на рівні 250–400%.

Для аналізу економічної доцільності розглянемо орієнтовні витрати на виробництво 100 кг пудри. Розрахункові данні наведені в таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 - Розрахунок собівартості ензимної пудри з папа

Найменування компонентів	Норма витрат на 100 кг продукції, кг(шт)	Ціна сировини, грн./ кг(шт,м)	Вартість сировини та основних матеріалів, грн
Витрати на сировину			
Рисовий крохмаль	34	482	16388
Каолін	27	270	7290
Натрій гідрокарбонат	10	3602	36020
Цинк оксид	6,5	450	2925
Папаїн	10	3410	34100
Бромелайн	5,5	1470	8085
Алантаїн	3	1121	3363
Пантенол	2	1553	3106
Ніацинамід	2	527	1054
Витрати на допоміжні матеріали			
Екологічна упаковка	1000	10	10000
Додаткові витрати			
Електроенергія, вода, амортизація обладнання	-	-	35000
Оплата праці персоналу	-	-	65000
Адміністративні витрати, логістика	-	-	11000
Всього			233331

Згідно з проведеними розрахунками, собівартість виробництва 100 кг ензимної пудри складатиме 233331 грн.

Собівартість однієї одиниці готового продукту з урахуванням вартості сировини, електроенергії, амортизації обладнання, витрат на пакування (банка, етикетка, ложечка), заробітної плати персоналу та логістики становить

орієнтовно 233 грн. Це свідчить про високий потенціал прибутковості з рентабельністю на рівні 250–400%.

Розрахунок собівартості крему з папаїном представлено у таблиці 5.2:

Таблиця 5.2 - Розрахунок собівартості крему для обличчя з папаїном

Найменування компонентів	Норма витрат на 100 кг продукції, кг(шт)	Ціна сировини, грн./кг(шт,м)	Вартість сировини та основних матеріалів, грн
Витрати на сировину			
Дистильована вода	45	50	2250
Гліцерин	10	220	2200
Бетаїн	10	860	8600
Ксантанова камедь	1	550	550
Консервант	1	800	800
Масло жожоба	5	1800	9000
Емолент	4	1500	6000
Ефірна олія	3	3100	9300
Цетеариловий спирт	3	255	765
Olivem 1000	7	2700	18900
Папаїн	5	3300	16500
Ніацинамід	5	2270	11350

Продовження таблиці 5.2

Гіалуроно ва кислота	0,5	6400	3200
Токоферо л	0,5	3450	1725
Витрати на допоміжні матеріали			
Екологічн а упаковка	800	5	4000
Додаткові витрати			
Електроен ергія, вода, амортизація обладнання	-	-	
Оплата праці персоалу	-	-	55000
Адміністр ативні витрати, логістика	-	-	36684
Всього			226824

Згідно з проведеними розрахунками, собівартість виробництва 100 кг крему для обличчя з папаїном складатиме 226824 грн.

## РОЗДІЛ VI ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

На підприємстві, що спеціалізується на виробництві косметичних засобів, таких як ензимна пудра та крем з папаїном, охорона навколишнього середовища є невід'ємною частиною операційної стратегії, що базується на принципах сталого розвитку та відповідає вимогам Системи Екологічного Менеджменту (СЕМ) ISO 14001. Керівництво забезпечує необхідні ресурси для постійного покращення екологічних показників, а призначений еколог здійснює моніторинг дотримання природоохоронного законодавства України та контролює виконання всіх заходів.

Одним із ключових аспектів є управління відходами виробництва. На підприємстві впроваджена сувора програма роздільного збору відходів безпосередньо в місцях їх утворення. Перероблювані матеріали (картон, папір, пластик, скло) збираються окремо та передаються для вторинної переробки. Особлива увага приділяється поводженню зі специфічними та небезпечними відходами. Це включає відпрацьовану тару з-під хімічної сировини, лабораторні реактиви та залишки продукції, що містять активні компоненти, такі як папаїн або молочна кислота. Ці відходи класифікуються, обліковуються та тимчасово зберігаються у захищених, герметичних приміщеннях з обмежувальними бортами, що запобігають розливу, а їхня подальша утилізація (знешкодження) здійснюється виключно ліцензованими організаціями.

Для охорони водних ресурсів підприємство обладнане локальною системою попередньої очистки стічних вод, що утворюються переважно в процесі миття обладнання. Система включає жироловлівачі для видалення емульгаторів та олій, а також критично важливу нейтралізаційну установку для доведення рівня рН стічних вод (які можуть бути кислими після використання молочної кислоти або лужними після миття) до нормативних показників. Цей етап запобігає негативному впливу на комунальні очисні споруди та навколишнє середовище. Регулярний лабораторний контроль складу скидів (ХСК, БСК, рН) підтверджує їхню відповідність встановленим нормативам.

Крім того, впроваджуються заходи з економії та рециркуляції води, де це технологічно можливо.

Охорона атмосферного повітря зосереджена на контролі викидів пилу, що є основним ризиком через виробництво ензимної пудри та роботу з порошкоподібною сировиною (каолін, крохмаль, папаїн). На джерелах утворення пилу (зони змішування та фасування) встановлені потужні аспіраційні системи, оснащені високоефективними фільтрами (наприклад, картриджними або HEPA-фільтрами). Ці системи забезпечують уловлювання дрібнодисперсних частинок, захищаючи як працівників, так і зовнішнє повітря. Проводиться інвентаризація джерел викидів та отримується необхідна дозвільна документація, що підтверджує дотримання гранично допустимих викидів (ГДВ).

Підприємство також дотримується принципів екологічно відповідального вибору сировини (Green Sourcing), віддаючи перевагу інгредієнтам з високою біорозкладністю та низьким екотоксичним профілем. У сфері пакування пріоритет надається перероблюваним матеріалам, мінімізується об'єм пакування та використовується PCR-пластик (вторинно перероблений), що сприяє впровадженню принципів циклічної економіки. Весь персонал проходить регулярне навчання, зокрема з Плану Локалізації та Ліквідації Аварійних Ситуацій (ПЛАС), що гарантує швидке та ефективне реагування на будь-які інциденти, що можуть становити загрозу довкіллю.

## РОЗДІЛ VII ОХОРОНА ПРАЦІ

На підприємстві, що спеціалізується на виготовленні косметичної продукції, зокрема ензимної пудри та крему для обличчя з активним інгредієнтом папаїном, організація охорони праці є пріоритетною та відповідає вимогам чинного законодавства України, а також міжнародним стандартам безпеки. Система охорони праці (СУОП) спрямована на запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та створення безпечних і здорових умов праці на всіх етапах виробництва.

Всі працівники, незалежно від посади, проходять обов'язкові інструктажі з охорони праці: вступний (при прийомі на роботу), первинний (на робочому місці), повторний (періодичний), позаплановий та цільовий. Регулярно проводиться навчання та перевірка знань з питань охорони праці та промислової безпеки, а також розроблені та затверджені детальні інструкції з охорони праці для кожної професії та виду робіт, що деталізують безпечні методи поводження з сировиною, обладнанням та хімічними речовинами. Працівники, які контактують із технологічними компонентами, проходять обов'язкові періодичні медичні огляди.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є хімічні речовини (молочна кислота, консерванти), фізичні фактори (температура, шум, електричний струм) та біологічні фактори, пов'язані з активною сировиною, наприклад, папаїном (протеолітичний фермент), який у вигляді пилу може викликати подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок. Найвищий ризик представляє пилоутворення під час змішування та фасування сухої ензимної пудри (суміші каоліну, крохмалю та ферментів).

Для мінімізації цих ризиків впроваджені ефективні технічні та організаційні заходи. Всі зони роботи з порошкоподібними компонентами обладнані потужними локальними витяжними системами (аспірацією) з високоефективними фільтрами для запобігання поширенню пилу та його вдиханню. Виробниче обладнання (реактори, гомогенізатори) має необхідні

захисні кожухи, блокування та заземлення, а робота в умовах високих температур контролюється автоматикою. Для роботи з концентрованими хімічними речовинами (кислоти, луги) застосовуються спеціальні протоколи, які виключають прямий контакт.

Усі працівники забезпечуються необхідними засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): спецодягом, головними уборами, а в зонах підвищеного пилоутворення (змішування ензимної пудри) — респіраторами (класу FFP2 або FFP3). При роботі з агресивними речовинами обов'язкове використання хімічно стійких рукавичок, захисних окулярів або лицьових щитків.

Для забезпечення пожежної безпеки розроблено та підтримується План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС). Приміщення обладнані первинними засобами пожежогасіння та автоматичною сигналізацією. Співробітники регулярно проходять навчання з дій у разі виникнення пожежі чи розливу хімічних речовин.

## ВИСНОВКИ

1. Опрацьовано науково-технічні джерела щодо використання папаїну в косметиці як протеолітичного ферменту. Систематизовано дані про механізм ензимної ексфоціації, роль папаїну в м'якому відлущуванні рогового шару та чинники, що визначають його активність і стабільність
2. Сформовано концепцію лінійки засобів для догляду за обличчям з папаїном, що включає ензимну пудру для очищення та крем з папаїном. Обґрунтовано вибір активних і допоміжних компонентів з урахуванням їх технологічного призначення, сумісності та спрямованості дії (очищення, делікатна ексфоціація, зволоження і підтримка бар'єрної функції).
3. Встановлено, що експериментальні зразки відповідають основним органолептичним і фізико-хімічним вимогам: ензимна пудра має однорідну сипку структуру без сторонніх домішок і зберігає стабільність під час зберігання, а крем є однорідним, має прийнятне значення рН – 5,9 для засобів догляду за обличчям та не проявляє ознак розшарування.
4. Побудовано математичну модель оптимізації складу (із застосуванням методів планування експерименту) та на її основі визначено доцільні діапазони введення папаїну – 1,5-10% для ензимної пудри з урахуванням ефективності, стабільності систем і сенсорних характеристик, а також зниження ризику подразнення чутливої шкіри.
5. Узагальнено токсикологічні характеристики інгредієнтів та окреслено ключові вимоги до безпечності виробництва і використання, зокрема контроль рівня ферментного комплексу, потенційних алергенів ароматичної композиції (за наявності) та забезпечення надійної консервувальної системи в кремі.
6. Розроблено принципову технологічну схему виробництва ензимної пудри й крему з папаїном, яка передбачає підготовку сировини, регламентовану послідовність введення компонентів, контроль режимів змішування/гомогенізації та фасування. Виконано розрахунок матеріального балансу дослідних партій і визначено прогнозні виходи продукції з

урахуванням технологічних втрат – 6,85%, характерних для порошкових та емульсійних систем.

7. Запропоновано основне обладнання та наведено елементи техніко-економічного обґрунтування впровадження лінійки у виробництво: визначено основні витратні статті, чинники формування собівартості (ферментна сировина, пакування, енерговитрати, контроль якості) і підходи до позиціонування продуктів, собівартість ензимної пудри склала 233 грн.

8. Сформовано заходи з охорони праці та екологічної безпеки відповідно до вимог GMP і підтверджено технологічну обґрунтованість та перспективність розроблених рецептур ензимної пудри та крему з папаїном для подальшої оптимізації, масштабування й впровадження у виробництво.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Banchhor M., Saraf S. Potentiality of Papain as an Antiaging Agent in Cosmetic Formulation. *Pharmacognosy Reviews*. 2008. Vol. 2, № 4. P. 266–270.
2. Thulasiayyah M. S., Arthanari S., Palanivel A., Rameshkumar H., Sivakumar H. A gifted cosmetic potential of papaya: A review. *International Journal of Pharmacognosy and Pharmaceutical Sciences*. 2025. Vol. 7, № 1. P. 11–19.
3. Trevisol T. C., Henriques R. O., Souza A. J. A., Furigo A. Jr. An overview of the use of proteolytic enzymes as exfoliating agents. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 2022. Vol. 21, № 8. P. 3300–3307.
4. Gonçalves S. D. Use of enzymes in cosmetics: proposed enzymatic peel procedure. *Cos ACTIVE Journal*. 2021. Vol. 1. P. 27–33.
5. Nekoueinaeini S. M., Aliahmadi A., Soleimani N. An Overview of Papain Enzyme Characteristics, Applications and Production. *Plant, Algae, and Environment*. 2024. Vol. 8, № 2. P. 1505–1527.
6. Amri E., Mamboya F. Papain, a Plant Enzyme of Biological Importance: A Review. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 2012. Vol. 8, № 2. P. 99–104.
7. Water (Aqua). *Cosmetic Ingredient Review (CIR) Expert Panel*. 2017. URL: <https://www.cir-safety.org/sites/default/files/aquafa.pdf> (дата звернення: 11.11.2025).
8. Glycerin. *Cosmetic Ingredient Review (CIR) Expert Panel*. 2017. URL: [https://www.cir-safety.org/sites/default/files/glycerin\\_fr\\_memo\\_2017.pdf](https://www.cir-safety.org/sites/default/files/glycerin_fr_memo_2017.pdf) (дата звернення: 12.11.2025).
9. Belsito D. V., Burnett C. L., Bergfeld W. F., Heldreth J. F. Safety Assessment of Alkyl Betaines as Used in Cosmetics. *International Journal of Toxicology*. 2018. Vol. 37, No. 1\_suppl. P. 28S–46S.
10. Final Report of the Safety Assessment of Panthenol and Pantothenic Acid. *International Journal of Toxicology*. 2017. Vol. 36, No. 3\_suppl. P. 11S–20S.
11. Final Report on the Safety Assessment of Carbomer. *International Journal of Toxicology*. 2017. Vol. 36, No. 3\_suppl. P. 21S–29S.

12. 2-Phenoxyethanol. *European Chemicals Agency (ECHA)*. 2025. URL: <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.004.173> (дата звернення: 15.12.2025).
13. Carbomer. *Cosmetics info*. 2025. URL: <https://www.cosmeticsinfo.org/ingredient/carbomer> (дата звернення: 13.11.2025).
14. Final Report on the Safety Assessment of Jojoba Derivatives. *International Journal of Toxicology*. 1992. Vol. 11, Iss. 3. P. 363–384. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 13.11.2025).
15. Caprylic/Capric Triglyceride (Emollient): Cosmetic Ingredient INCI. *SpecialChem*. 2022. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 16.11.2025).
16. Elder R. L. Final Report on the Safety Assessment of Squalane and Squalene. *International Journal of Toxicology*. 1982. Vol. 1, Iss. 2. P. 37–57. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 16.11.2025).
17. Lalko J., Lapczynski A. Final Report on the Safety Assessment of Lavender Oil. *International Journal of Toxicology*. 2008. Vol. 27, Iss. 1. P. 59–66. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 18.11.2025).
18. Elder R. L. Final Report on the Safety Assessment of Cetearyl Alcohol, Cetyl Alcohol, Isostearyl Alcohol, Myristyl Alcohol, and Behenyl Alcohol. *International Journal of Toxicology*. 1988. Vol. 7, Iss. 3. P. 219–243. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 18.11.2025).
19. Final Report on the Safety Assessment of Glyceryl Stearate SE. *International Journal of Toxicology*. 1982. Vol. 1, Iss. 2. P. 59–79. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 18.11.2025).
20. Olivem 1000. *Hallstar Beauty*. 2024. URL: <https://www.hallstar.com/product/olivem-1000/> (дата звернення: 20.11.2025).
21. Papain. *PubChem*. 2024. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Papain> (дата звернення: 20.11.2025).

22. Final Report on the Safety Assessment of Hyaluronic Acid. *International Journal of Toxicology*. 2009. Vol. 28, Iss. 6. P. 5–67. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 22.11.2025).
23. Final Report on the Safety Assessment of Lactic Acid. *International Journal of Toxicology*. 1998. Vol. 17, Iss. 1. P. 5–58. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 23.11.2025).
24. Final Report on the Safety Assessment of Triethanolamine, Diethanolamine, and Monoethanolamine. *International Journal of Toxicology*. 1983. Vol. 2, Iss. 3. P. 183–236. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 25.11.2025).
25. Belsito D. V., et al. Safety Assessment of Niacinamide and Niacin. *International Journal of Toxicology*. 2005. Vol. 24, Iss. 1. P. 1–28. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 27.11.2025).
26. Final Report on the Safety Assessment of Allantoin and its Related Compounds. *International Journal of Toxicology*. 2010. Vol. 29, Iss. 1. P. 84–97. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 27.11.2025).
27. Final Report on the Safety Assessment of Tocopherol, Tocopheryl Acetate, Tocopheryl Linoleate, Tocopheryl Nicotinate, and Tocopheryl Succinate. *International Journal of Toxicology*. 2001. Vol. 20, Iss. 1. P. 13–50. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 28.11.2025).
28. Final Report on the Safety Assessment of Camellia Sinensis Extract, Camellia Sinensis Leaf Extract, Camellia Sinensis Leaf Powder, Camellia Sinensis Seed Extract, and Camellia Sinensis Seed Oil. *International Journal of Toxicology*. 2010. Vol. 29, Iss. 5. P. 110–136. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 28.11.2025).
29. Kaolin. *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*. 2021. URL: <https://www.osha.gov/chemicaldata/233> (дата звернення: 28.11.2025).
30. Final Report on the Safety Assessment of Starch and Modified Starches. *International Journal of Toxicology*. 2000. Vol. 19, Iss. 1. P. 1–55. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 30.11.2025).

31. Final Report on the Safety Assessment of Sodium Bicarbonate, Sodium Carbonate, and Sodium Sesquicarbonate. *International Journal of Toxicology*. 2011. Vol. 30, Iss. 2. P. 5–44. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 30.11.2025).
32. Final Report on the Safety Assessment of Zinc Oxide and Zinc Acetate. *International Journal of Toxicology*. 2011. Vol. 30, Iss. 3. P. 5–34. URL: <https://journals.sagepub.com/> (дата звернення: 30.11.2025).
33. Pavan R. Properties and therapeutic application of bromelain: a review / R. Pavan, S. Jain, A. Kumar // *Biotechnology Research International*. — 2012. — Vol. 2012. — Art. ID 976203.
34. Iyer P. V. Enzyme stability and stabilization—Aqueous and non-aqueous environment / P. V. Iyer, L. Ananthanarayan // *Process Biochemistry*. — 2008. — Vol. 43, No. 10. — P. 1019–1032.
35. Tadros T. F. Application of rheology for assessment and prediction of the long-term physical stability of emulsions / T. F. Tadros // *Advances in Colloid and Interface Science*. — 2004. — Vol. 108–109. — P. 227–258.
36. Lodén M. Role of topical emollients and moisturizers in the treatment of dry skin barrier disorders / M. Lodén // *American Journal of Clinical Dermatology*. — 2003. — Vol. 4, No. 11. — P. 771–788.
37. Lane M. E. Skin penetration enhancers / M. E. Lane // *International Journal of Pharmaceutics*. — 2013. — Vol. 447, No. 1–2. — P. 12–21.
38. Rawlings A. V. Moisturization and skin barrier function / A. V. Rawlings, C. R. Harding // *Dermatologic Therapy*. — 2004. — Vol. 17, Suppl. 1. — P. 43–48.
39. Rawlings A. V. Moisturization and skin barrier function / A. V. Rawlings, C. R. Harding // *Dermatologic Therapy*. — 2004. — Vol. 17, Suppl. 1. — P. 43–48.
40. Smith A. Cosmetic Peeling Agents: A Review of Enzyme and Acid-Based Formulations. *Journal of Dermatological Science*. 2023.
41. Brown C. D. The Role of Proteolytic Enzymes in Skincare: Formulation and Efficacy. *International Journal of Cosmetic Chemistry*. 2022.

42. Davies E. F. Dry Powder Cleansers: Stability and Activation Mechanisms of Enzyme-Based Products. *Skin Barrier Research*. 2021.
43. Miller G. H. Comparative Analysis of Papain and Bromelain in Mild Exfoliation. *Cosmetic Dermatology Reviews*. 2024
44. Скраби косметичні. Загальні технічні умови : ДСТУ 4764:2007. — [Чинний від 2008-01-01]. — Київ : Держспоживстандарт України, 2008. — 10 с. — (Національний стандарт України)..
45. Stremnitzer C. Papain Degrades Tight Junction Proteins of Human Keratinocytes In Vitro and Sensitizes C57BL/6 Mice via the Skin / C. Stremnitzer [et al.] // *Journal of Investigative Dermatology*. — 2015. — Vol. 135, No. 5. — P. 1290–1300.
46. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 161 Хімічні технології та Інженерія, освітньо-професійної програми «Хімічні технології харчових добавок та косметичних засобів» денної та заочної форм здобуття освіти [Електронний ресурс] / уклад.; О.В. Подобій, Т.М. Бойчук - К.: ННІХТ, 2023.- 71 с.