

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет медико-фармацевтичних технологій
Кафедра біотехнології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ЕКСТРАКТУ ХЛОРЕЛИ
ДЛЯ КОСМЕТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ»

Виконав : здобувачка вищої освіти групи БТ621(3,10д)-01
спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія
освітньої програми Біотехнологія
Даріна БОНЧУК

Керівник: Доцент закладу вищої освіти кафедри
біотехнології, к.фарм.н, с.н.с. Наталія ДВІНСЬКИХ

Рецензент: Доцент закладу вищої освіти кафедри
промислової технології ліків та косметичних засобів,
д.фарм.н, доц. Людмила ПЕТРОВСЬКА

Харків – 2025 рік

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена організації виробництва продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках на вітчизняному підприємстві. У роботі складено опис технологічного процесу отримання сухого екстракту з клітин мікроводорості *Chlorella vulgaris*, складено біологічну, технологічну та апаратурну схеми виробництва. Для отримання посівного матеріалу запропоновано плоский панельний фітобіореактор-інокулятор марки ФБР-ПП 10000. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, графічних матеріалів, висновків, списку літератури з 32 джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 73 сторінки, містить 7 рисунків, 8 таблиць та 2 креслення формату А1.

Ключові слова: *Chlorella vulgaris*, фітобіореактор, мікроводорість, мікробний синтез, інокулят.

ANNOTATION

The qualification work is devoted to the organization of production of the product "Chlorella extract for cosmetic use" in bottles of 0.25 kg" at a domestic enterprise. The work describes the technological process of obtaining a dry extract from cells of the microalgae *Chlorella vulgaris*, and a biological, technological and instrumental scheme of production is drawn up. To obtain seed material, a flat panel phytobioreactor-inoculator of the FBIR-PP 10000 brand is proposed. The qualification work consists of an introduction, four chapters, graphical materials, a conclusion, a list of used literature from 32 items and appendices. The total volume of work is 73 pages, 7 figures, 8 tables, 2 A1 format drawings.

Key words: *Chlorella vulgaris*, phytobioreactor, microalgae, microbial synthesis, inoculum.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналітичний огляд.....	7
2 Характеристика готового продукту, сировини, матеріалів, напівпродуктів.....	23
2.1 Характеристика готового продукту.....	23
2.2 Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів	24
3 Технологічна частина.....	28
3.1 Розрахунок матеріального балансу.....	28
3.2 Розрахунок і вибір технологічного обладнання (із кресленням основного апарату).....	35
3.3 Опис технологічного процесу.....	42
3.4 Схеми виробництва (зі специфікацією обладнання).....	50
3.5 Критичні параметри виробництва.....	56
3.6 Екологічні аспекти виробництва.....	60
Висновок.....	65
Список використаної літератури.....	66
Додатки.....	70

					162.01.03.00 000 ПЗ			
Змн..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Бончук Д.А.				Організація виробництва екстракту хлорели для косметичного застосування Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Двінських Н.В.						2	73
Н. контр.						НФаУ Кафедра біотехнології		
Затвердив	Хохленкова Н.В.							

ВСТУП

Актуальність теми. В останні роки інтерес до мікроводорості *Chlorella vulgaris* був пов'язаний, в основному, з її використанням у виробництві біодизельного палива, а також кормів для тварин. Біомаса цієї природної сировини є цінним джерелом білків, вуглеводів, вітамінів, поліненасичених жирних кислот, мінеральних речовин, пігментів. Вміст білків у хлорелі може досягати 60% від вмісту сухих речовин. У білках представлені всі незамінні амінокислоти. Є також ліпіди, вітаміни групи В, вітамін С, β -каротин, хлорофіл, флавоноїди, різноманітні мікроелементи – кобальт, нікель, марганець, цинк, залізо, йод та ін. При цьому хлорела не утворює токсичних метаболітів чи продуктів розпаду. Унікальне поєднання біологічно активних речовин мікроводорості обумовлює перспективність для застосування у косметичній продукції. Але утруднюючим фактором при розробці технологій отримання екстрактів хлорели є складність руйнування клітинної стінки водорості. Перспективним є розвиток технологій щадних режимів руйнування клітин та очистки екстракту для отримання якісних ефективних продуктів та подальшого створення інноваційних формул косметичних засобів, що максимально розкривають потенціал цієї мікроводорості.

Мета роботи полягає в організації виробництва екстракту хлорели на вітчизняному підприємстві для забезпечення косметологічної індустрії продуктом високої якості, для розвитку біотехнологічної галузі та підвищенню її прибутковості.

Для досягнення мети були визначені завдання:

- опрацювати дані літературних джерел щодо значення мікроводоростей для отримання цінних біопродуктів, щодо напрямів, де використовують мікроводорості, зокрема *Chlorella vulgaris*;
- проаналізувати переваги використання мікроводоростей як продуцентів БАР;

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дослідити особливості технологічного процесу вирощування біомаси хлорели для отримання екстракту для косметологічного застосування, методи культивування в промислових умовах;

- запропонувати технологію отримання екстракту хлорели для організації його виробництва, розробити технологічну схему виробництва;

- проаналізувати технологічне обладнання, яке використовують для культивування мікроводорості та для обробки екстракту, визначити основні види обладнання для забезпечення ефективного технологічного процесу;

- провести технологічні розрахунки щодо сировини та вибору обладнання для технологічного процесу отримання серії сухого екстракту хлорели.

Об'єктами роботи є мікроводорість *Chlorella vulgaris*, екстракт сухий з її біомаси для косметологічного застосування.

Предметом роботи є технології отримання та очистки екстракту хлорели, обладнання для організації виробничого процесу його отримання.

Методи досліджень: методи систематизації та класифікації даних наукової літератури, технологічні методи - розрахункові, графічні, описові.

Практичне значення отриманих результатів. Дослідження, присвячене організації виробництва екстракту хлорели на вітчизняному підприємстві, має значне практичне значення для розвитку біотехнологічної та косметологічної галузей. Отримані результати сприяють вирішенню актуальних завдань, пов'язаних із використанням біомаси хлорели як цінного джерела біологічно активних речовин (БАР) для створення інноваційних косметичних продуктів.

Запропонована технологія отримання сухого екстракту хлорели, що включає етапи культивування, руйнування клітинних стінок, екстракції, концентрування та сушки, дозволяє організувати промислове виробництво високоякісного продукту, із збереженням біоактивних компонентів (білків, пігментів, поліненасичених жирних кислот, вітамінів, мікроелементів), що робить екстракт придатним для косметологічного застосування.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Високий вміст білків (до 60% від сухої маси), незамінних амінокислот, хлорофілу, β -каротину, флавоноїдів і мікроелементів (кобальт, цинк, залізо, йод) у біомасі хлорели забезпечує її унікальні зволожувальні, антиоксидантні, регенеруючі та протизапальні властивості. Це дозволяє розробляти інноваційні косметичні формули для догляду за шкірою, зокрема антивікові креми, маски та сироватки.

Запропоновані щадні режими руйнування клітинних стінок хлорели (зокрема, за допомогою ультразвукової обробки) та методи очистки екстракту (ультрафільтрація, розпилювальна сушка) вирішують проблему складності руйнування міцної клітинної стінки (спорополеніну). Це підвищує вихід біоактивних речовин і забезпечує високу якість кінцевого продукту.

Проведений аналіз і вибір технологічного обладнання (фітобіореактори, ультразвукові установки, системи ультрафільтрації, розпилювальні сушарки) забезпечує ефективність і економічність процесу. Запропоновані моделі обладнання (наприклад, GEA Westfalia Separator, Hielscher UIP4000hdT, Pall Centramate 500 S, GEA Niro Mobile Minor) адаптовані до промислових масштабів і відповідають вимогам асептичності та збереження якості продукту.

Організація виробництва екстракту хлорели на вітчизняному підприємстві сприятиме зниженню залежності від імпорту сировини для косметичної промисловості, підвищенню прибутковості біотехнологічного сектору та створенню нових робочих місць.

За темою роботи опубліковано тези:

Бончук Д.А. Аналіз способів руйнування клітинної стінки хлорели / Бончук Д.А., наук. кер.: Двінських Н.В. // Актуальні питання створення нових лікарських засобів: мат. XXXI міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів (23-25 квітня 2025 р., м. Харків). – Харків: НФаУ, 2025. – С. 171-172.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Значення мікроводорості *Chlorella vulgaris* та шляхи її застосування

Мікроводорість *Chlorella vulgaris* є однією з найбільш вивчених і широко використовуваних водоростей у біотехнології завдяки багатому хімічному складу та унікальним біологічним властивостям. Вона містить значну кількість білків, амінокислот, вітамінів, мінералів, каротиноїдів і хлорофілу, що забезпечує її високу біологічну активність і робить перспективною для застосування у різних галузях як продуцента білків, ліпідів, антиоксидантів та інших речовин та їх комплексів.

Серед галузей застосування можна виділити такі [16-18, 27, 29]:

Рибництво: використовується для очищення ставків, збагачення води киснем, що особливо важливо при аномальній спеці, коли рівень кисню різко падає, і риба гине. [17, 18]

Сільське господарство: як органічний природний біостимулятор росту рослин, що прискорює коренеутворення, розвиток і цвітіння [17, 18, 23].

Тваринництво та птахівництво: як альтернативне джерело білка, вітамінів і амінокислот, що перевищує за вмістом білка навіть люцерну [9, 17, 18].

Косметична промисловість: хлорела використовується як активний інгредієнт у косметичних засобах завдяки своїм зволожуючим, омолоджувальним, антиоксидантним та регенеруючим властивостям [1, 3, 27, 30, 31].

Біотехнологія і фармацевтика: застосовується для отримання біологічно активних речовин, розробки нових лікарських засобів, ранозагоювальних пов'язок, фотосенсибілізаторів для фотодинамічної терапії. [7, 10, 14, 15, 29, 30, 31, 32]

Екологія і очищення довкілля: використовується для біологічного очищення води, боротьби з синьо-зеленими водоростями, стабілізації

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

екосистем, а також у замкнених екосистемах (космічні станції, підводні човни) для виробництва кисню і очищення повітря. [3]

Промисловість: застосовується у виробництві пігментів, біополімерів, паливних елементів, фотоелектричних технологій, а також у виробництві біопалива (біодизель, біоетанол) [3, 14, 16].

Таким чином, хлорела є багатофункціональним мікроорганізмом із широким спектром застосувань у сільському господарстві, екології, промисловості, медицині та косметології.

Зупинимося на використанні хлорели у косметології.

Chlorella vulgaris — це одноклітинна зелена водорість, що характеризується високою швидкістю росту і здатністю накопичувати цінні біомолекули. Вона є джерелом повноцінних білків (до 58% сухої маси), вітамінів (А, В, С, Е), мінералів (залізо, кальцій, магній), а також антиоксидантів — хлорофілу і каротиноїдів, зокрема лютеїну. Ці компоненти сприяють захисту клітин від окисного стресу, стимуляції регенерації та підтримці імунітету шкіри.

У косметології екстракти *Chlorella vulgaris* використовують як активні інгредієнти, що забезпечують комплексний догляд за шкірою. Вони мають антиоксидантні, зволожуючі, протизапальні, омолоджувальні та захисні властивості. Екстракт хлорели стимулює синтез колагену і еластину, що відповідають за пружність і еластичність шкіри, а також пригнічує ферменти, які руйнують ці білки, зберігаючи молодість і здоровий вигляд шкіри.

Крім того, хлорела виступає як детоксикаційний агент, здатний зв'язувати і виводити важкі метали (ртуть, свинець, кадмій) з шкіри, що знижує токсичне навантаження і покращує стан шкірних покривів. Вона також сприяє відновленню шкірного бар'єра, покращує мікроциркуляцію і зменшує прояви втоми та стресу на шкірі.

Завдяки багатому складу, екстракт хлорели широко застосовується у формулах антивікових кремів, сироваток, масок, засобів для зони навколо очей, а також у продуктах для догляду за чутливою, втомленою і зрілою

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

шкірою. Він ефективний у боротьбі з гіперпігментацією, покращує тон шкіри, зволожує і захищає від окисного стресу, що особливо важливо у сучасних умовах забрудненого середовища.

Наукові дослідження підтверджують, що косметичні засоби з екстрактом *Chlorella vulgaris* мають потенціал для комплексного поліпшення стану шкіри. Вивчаються різні способи екстракції активних речовин для збереження їхньої біодоступності та стабільності у косметичних формулах. Також розглядається можливість комбінування хлорели з іншими водоростями для посилення омолоджувального і антиоксидантного ефектів.

1.2 Промислове виробництво мікроводоростей

Порівняно з вищими рослинами, мікроводорості мають деякі переваги, такі як вища продуктивність, відсутність сезонності та, у випадку виробництва біопалива, не конкурують з їжею для людини. Їхній вражаючий біотехнологічний потенціал для виробництва низки біокомпонентів, таких як пігменти, ліпіди, полісахариди, біополімери, білки, вітаміни тощо широко розглядається в літературі.

Перші кроки у виробництві мікроводоростей, від культивування до збору врожаю та руйнування клітин для екстракції або відновлення внутрішньоклітинних та позаклітинних компонентів відображено на рис. 1.1.

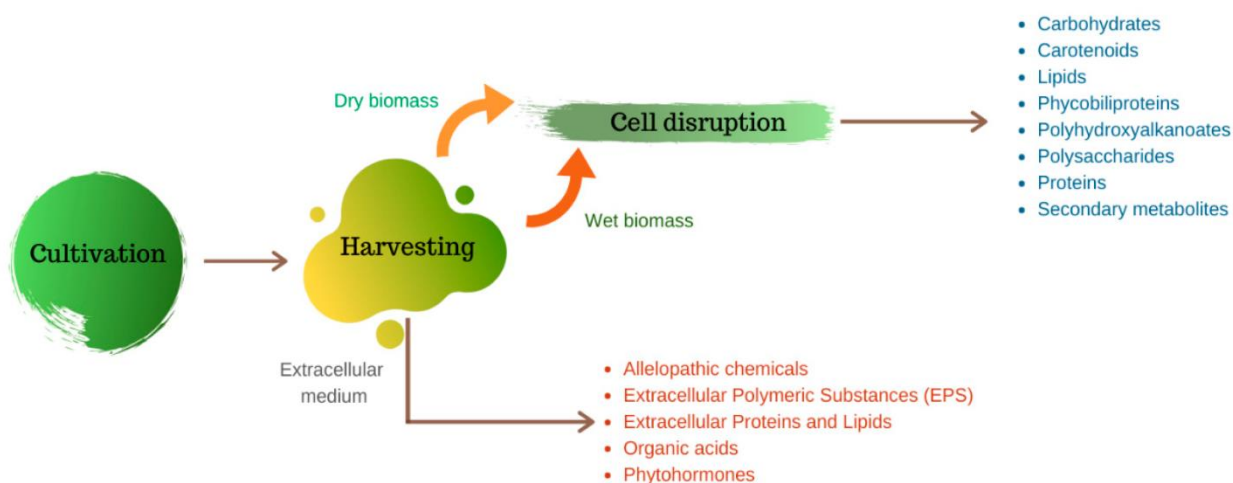


Рис. 1.1 – Шляхи отримання промислово цінних компонентів мікроводоростей [9]

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.3. Технології вирощування хлорели для отримання екстракту

Вирощування мікроводорості *Chlorella vulgaris* є важливим етапом у виробництві біологічно активних екстрактів для косметичного застосування. Ефективність отримання екстракту значною мірою залежить від вибору технології культивування, типу ферментера та параметрів режиму вирощування. Нами узагальнено сучасні підходи до технології культивування хлорели за даними наукової літератури.

Вирощування хлорели потребує оптимізації умов освітлення, температури, аерації та поживного середовища для досягнення максимальної біомаси та накопичення цільових компонентів.

Параметри процесу культивування

Режими вирощування хлорели за даними аналізу літератури [3, 7, 10, 13, 17] структуровано за основними параметрами у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика основних параметрів культивування хлорели

Параметр	Значення	Вплив на культивування та ріст	Переваги/недоліки
1	2	3	4
Постійне освітлення	24 год/доба	Забезпечує безперервний фотосинтез і максимальний ріст	Може призводити до фотодинамічного стресу
Циклічне освітлення (фотоперіод)	Чергування світла і темряви (напр., світло / темрява 8/16 годин)	сприяє більш стабільному росту і підвищенню концентрації біологічно активних речовин	Збільшує ефективність

Температура	оптимальна 24–28 °C	Відхилення від цього діапазону знижують продуктивність	Необхідний постійний контроль
Аерація з вуглекислим газом	Подача CO ₂ у концентрації 1–5% у повітрі	Підтримує фотосинтезу у ферментерах	Збільшення ефективності культивування та біосинтезу БАР
Рівень перемішування	100–300 об/хв (від типу ферментера)	Забезпечує рівномірний розподіл світла та поживних речовин, запобігає осіданню клітин	Необхідно мати ферментер, оснащений мішалкою
Склад живильного середовища	Азот, фосфор, мікроелементи та вуглець	Оптимізація складу середовища підвищує вміст цільових компонентів у біомасі	Підвищення вмісту білків, хлорофілу, каротиноїдів та інших БАР

Технологічні особливості для підвищення вмісту цільових речовин

Для отримання екстракту хлорели важливо не лише максимізувати біомасу, а й підвищити вміст у ній біологічно активних речовин. В дослідженнях, представлених в науковій літературі [3, 10, 13, 17] для цього застосовують:

- контроль *освітлення за спектром і інтенсивністю*, що впливає на синтез пігментів (хлорофілу, каротиноїдів). Використовують фотобіореактори із LED-освітленням для точного контролю світлового спектра;
- використання *режимів стресу* (наприклад, обмеження поживних речовин (азоту), зміна температури), що стимулює накопичення антиоксидантів;

- підтримання стерильних умов у закритих ферментерах для запобігання контамінації;
- використання систем моніторингу параметрів (рН, температура, концентрація CO₂) для автоматичного регулювання режимів.

Обладнання для культивування

Для культивування хлорели використовують різні типи біореакторів (ферментерів), які можна розділити на відкриті та закриті системи.

- **Відкриті системи** (ставки, басейни) мають низьку вартість, але обмежений контроль параметрів і ризик контамінації. Вони рідко застосовуються для отримання косметичних екстрактів високої якості.
- **Закриті фотобіореактори** забезпечують контрольовані умови культивування, що дозволяє оптимізувати ріст та склад біомаси. До них належать трубчасті, плоскі та колонкові фотобіореактори.
- **Мішалкові ферментери з освітленням** (фототрофні біореактори) — це закриті системи, які поєднують механічне перемішування та штучне освітлення, що забезпечує рівномірний розподіл світла і поживних речовин. Вони дозволяють контролювати параметри рН, температуру, концентрацію CO₂ та інші фактори.

Згідно з сучасними дослідженнями, для промислового вирощування хлорели використовують фотобіореактори об'ємом від кількох десятків літрів до кількох кубометрів, оснащені системами контролю освітлення (тривалості, інтенсивності та спектра), температури (22–28 °C), аерації (подача CO₂ 1-5%) та перемішування для рівномірного розподілу клітин і газів. [3, 7, 10, 13, 17, 28]

У навчально-довідковій та науковій літературі описані фотобіореактори різних типів [3, 7, 10, 13, 17, 28]. Основні види їх конструкцій наведено на рис. 1.1.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

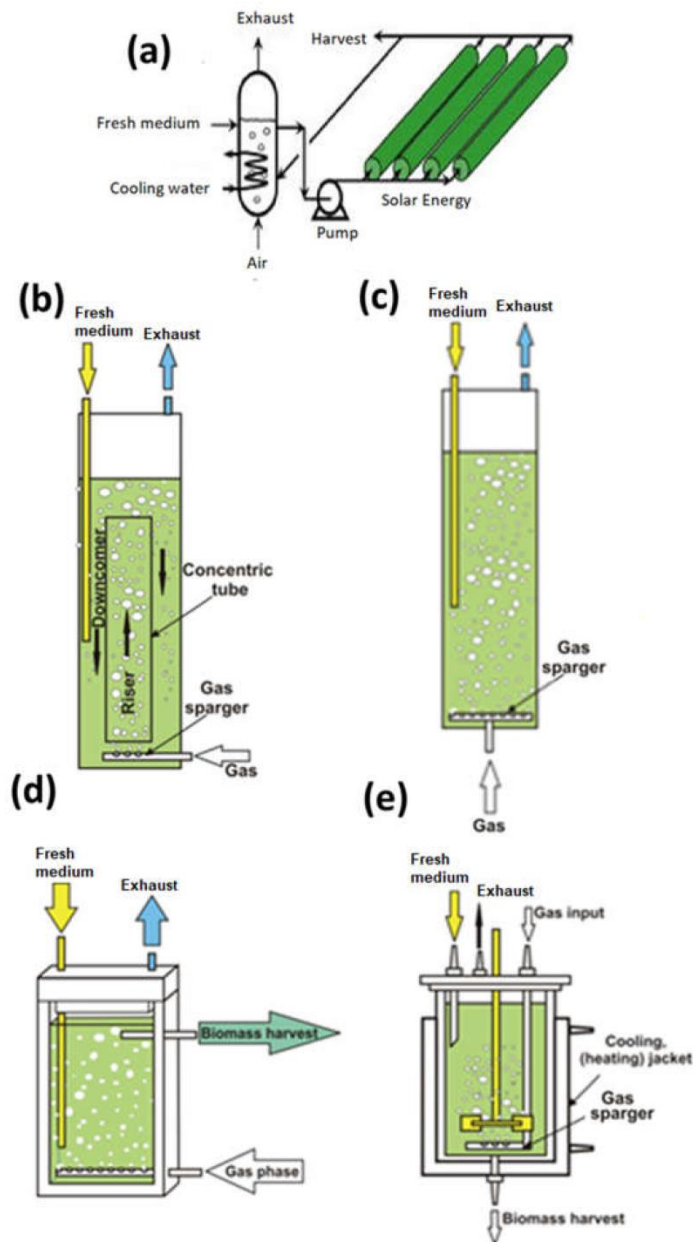


Рис. 1.1 Схематичні діаграми основних біореакторів:
 (а) трубчастий, (b) вертикальний ерліфтний, (с) барботажна колона, (d)
 плоскопанельний, (е) реактор з перемішуванням. [Джерело:
<https://www.mdpi.com/2673-6284/12/1/10/xml>]

Відмітимо особливості:

- трубчасті фотобіореактори забезпечують високу площу освітлення і ефективний газообмін;
- колонкові ферментери з аерацією і перемішуванням добре підходять для масштабування;

- мішалкові ферментери з LED-освітленням дозволяють точно регулювати спектр і інтенсивність світла, що позитивно впливає на продуктивність і склад біомаси.

Водорості можна культивувати фотоавтотрофно в відкритих ставках, а також гетеротрофно в закритих резервуарах. Однак комерційне виробництво водоростей здебільшого залежить від автотрофного вирощування, наприклад, *Spirulina* sp. і *Chlorella* sp. Фотоавтотрофна культура має низьку вартість, але й врожайність також низька. У міксотрофних і гетеротрофних умовах вихід біомаси багатьох водоростей навіть у десятки разів перевищує таку в автотрофних умовах. Вибираючи між фотоавтотрофним і гетеротрофним культивуванням, багато виробників покладаються на вищий урожай біомаси на одиницю витрат. Теоретично ферментація мікроводоростей не вимагає участі фотосинтезу. Якщо непотрібні фізіологічні функції та структури мікроводоростей можна буде контролювати під час процесу вирощування, або якщо «навчити» синтезу БАР клітини мікроводоростей генно-інженерним шляхом, то це може значно підвищити економічну ефективність виробництва. [3, 7, 10, 29]

Отже, оптимальна технологія вирощування хлорели для отримання косметичного екстракту передбачає використання закритих фотобіореакторів із контролем освітлення, температури, аерації та перемішування. Режими культивування повинні бути адаптовані для максимального накопичення цільових біологічно активних речовин. Використання сучасних ферментерів із системами автоматичного контролю дозволяє отримувати стабільну та якісну біомасу хлорели, що є основою для виробництва ефективних косметичних екстрактів.

2.4 Методи отримання екстракту з біомаси хлорели

Післяферментаційна обробка (down-stream процес) у виробництві екстракту хлорели для косметичного застосування передбачає кілька

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

послідовних етапів: культивування, концентрація біомаси, екстракція цільових компонентів та отримання сухого концентрату.

Для визначення способів переробки біомаси на екстракт слід згадати, що клітинна стінка водорості складається з целюлозоподібних вуглеводів, білків і незначної кількості пігментів-каротиноїдів. Стійка до хімічного впливу клітинна стінка захищає концентровані в хлорелі цінні біологічно активні речовини (БАР), перешкоджаючи їх вилучення для використання. [5, 10, 13, 19]

Тому перелік етапів має бути доповнений стадією руйнування клітинної стінки водорості.

1. Концентрація біомаси

Після культивування хлорели у фотобіореакторах біомасу необхідно відокремити від живильного середовища. Для цього використовують центрифугування, фільтрацію або флотацію, що дозволяє отримати концентрат з високою щільністю клітин. Концентрація біомаси є важливою для підвищення ефективності подальшої екстракції та зменшення обсягів оброблюваного матеріалу.

2. Руйнування клітинної стінки

Для переробки водорості роду *Chlorella* з метою руйнування клітин використовують зазвичай комплексні методи, що включають термічні способи, такі як кип'ятіння та/або заморожування біомаси, механічні та фізичні, такі як обробка у механічних активаторах планетарного, вібраційного або вібровідцентрового типу, обробку в апараті, що створює вихрове електромагнітне поле з хаотично рухомими феромагнітними частинками, обробку органічними розчинниками, такими як етанол та бензин, ультразвукове опромінення. [1, 5, 11, 12, 19, 23]

Вказані методи, як правило комбінують з біохімічним типом впливу, тобто з ферментативним гідролізом компонентів біомаси, що дозволяє перевести БАР у водорозчинний стан. Дослідники застосовують переважно препарати целюлолітичних і протеолітичних ферментів. [1, 7, 9, 14]

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Попередньо здійснюють потужний механічний вплив на клітину, а в завершенні ферментативних реакцій – тепловий вплив, який також призводить до інактивації ферментів. Така комбінація забезпечує збільшення виходу екстрактивних речовин, але не гарантує збереження активності виділених хімічних сполук, що особливо важливо для косметичної продукції.

З аналізу даних наукової літератури, можна зробити висновок про те, що найбільш перспективним для виділення БАР з хлорели є комбінування механічного та ферментативного способів руйнування її клітинної структури. [1, 7, 9, 14-16]

При механічній активації біомаси водорості відбувається механічне руйнування клітин, розупорядкування надмолекулярної структури клітинних стінок, підвищення їх проникності по відношенню до ферментів та підвищення їхньої реакційної здатності при подальшому ферментативному гідролізі.

Механічний спосіб отримання активованих клітинних стінок ефективніший, ніж розварювання в рідкій фазі при високій температурі, оскільки не вимагає великих кількостей води та підтримки підвищеної температури. Біомаса, активована механічно, являє собою зруйновані клітини і має більшу реакційну здатність, ніж розварена при нагріванні без руйнування клітин.

Але в сучасних виробничих умовах ультразвукова обробка є однією з найбільш ефективних методик. Вона базується на явищі кавітації, коли у рідкому середовищі утворюються та руйнуються мікропухирці, що створює локальні високі температури і тиски, які механічно руйнують клітинні стінки. Ультразвукові реактори з проточними камерами дозволяють обробляти біомасу у безперервному режимі з високою продуктивністю.

Режим УЗ обробки: частота 20–50 кГц, час обробки від 10 до 70 хвилин, залежно від концентрації біомаси і бажаного ступеня руйнування. Перед руйнуванням концентрують біомасу до щільності 100–200 г/л для забезпечення ефективної кавітації та мінімізації витрат енергії. Під час

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

обробки здійснюють рециркуляцію біомаси через ультразвуковий реактор для досягнення повного руйнування клітин. [9-12]

3. Екстракція цільових компонентів

Після руйнування клітинної стінки відбувається вилучення внутрішньоклітинного вмісту. Для косметичних екстрактів важливо зберегти активні речовини — білки, пептиди, хлорофіл, каротиноїди, вітаміни.

Для екстракції використовують водні або водно-спиртові розчини, а також методи з використанням ультразвуку, які сприяють більш повному вилученню активних компонентів. Ультразвукова екстракція одночасно сприяє руйнуванню клітин і вивільненню внутрішньоклітинних сполук, що підвищує ефективність процесу.

Двостадійна екстракція, коли після першої екстракції залишки біомаси піддають повторній обробці, дозволяє вилучити до 95% ліпідів і інших компонентів. [1, 4, 6-16]

4. Концентрування та сушіння екстракту

Отриманий рідкий екстракт зазвичай концентрують для зменшення обсягу і підвищення стабільності. Концентрування здійснюють методом випарювання під вакуумом або мембранною фільтрацією.

Для отримання сухого екстракту застосовують сушіння розпиленням (спрей-сушка) або ліофілізацію. Спрей-сушка дозволяє швидко отримати порошок з високою біологічною активністю, зберігаючи термолабільні компоненти. Ліофілізація, хоча і дорожча, забезпечує максимальне збереження структури і активності речовин.

Обладнання для сушіння підбирають залежно від обсягів виробництва та вимог до якості кінцевого продукту. Потужність сушарок може бути розрахована на цикли по 100 кг біомаси. [1, 9, 10, 17]

Отже, отримання екстракту хлорели зі зруйнованої біомаси є комплексним процесом, що включає концентрацію, руйнування клітин, екстракцію, концентрування і сушіння. Ультразвукова обробка є ключовою технологією для ефективного руйнування клітинної стінки та підвищення

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

виходу біологічно активних речовин. Використання сучасного обладнання — проточних ультразвукових реакторів, систем концентрації та сушіння — забезпечує отримання високоякісного сухого екстракту, придатного для косметичних застосувань.

2.5 Загальна технологія отримання екстракту хлорели

На основі вищевикладеного можна запропонувати такий спосіб виробництва екстракту хлорели (*Chlorella vulgaris*) для косметичного застосування:

1. Вирощування мікроводорості *Chlorella vulgaris* у контрольованих умовах, забезпечуючи оптимальні параметри освітлення, температури та поживних речовин для отримання максимальної біомаси.
2. Збір і очищення біомаси від сторонніх домішок.
3. Обробка біомаси для отримання водорозчинного екстракту. Екстрагування у воді або водно-спиртових розчинах при контрольованих температурах, що дозволяє зберегти активні компоненти: білки, амінокислоти, хлорофіл, каротиноїди, вітаміни, мінерали та пептиди.
4. Фільтрація та концентрування екстракту для підвищення концентрації біологічно активних речовин.
5. Сушка (наприклад, ліофілізація або спрей-сушка) для отримання сухого порошку або концентрату, що зручно використовувати у косметичних формулах.

Така технологія отримання екстракту хлорели забезпечить його потужні антиоксидантні, омолоджувальні, зволожуючі та відновлювальні властивості, які сприятимуть збереженню колагену, покращуватимуть тонус і текстуру шкіри, зменшуватимуть судинні дефекти, підвищуватимуть захисні функції епідермісу. Тобто цей спосіб виробництва є оптимальним для отримання високоякісного косметичного інгредієнта, який можна

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

використовувати у кремах, масках, сироватках та інших косметичних засобах.

Висновок до розділу 1:

Проаналізовано джерела літератури щодо напрямів використання мікроводорості *Chlorella vulgaris* в різних галузях, більш детально розглянуто її функції для косметологічного застосування, окреслено переваги у використанні мікроводоростей у промислових процесах отримання цінних речовин, проаналізовано та систематизовано технологічні аспекти культивування хлорели, охарактеризовано основні параметри процесу, розглянуті типи обладнання для культивування, зокрема види фітобіореакторів. Проаналізовано літературні дані щодо досліджень умов та методів після ферментаційної обробки хлорели для отримання екстракту. Виявлено необхідність додаткового технологічного етапу – руйнування клітинної стінки та визначено перспективні методи для цього. Сформовано загальну технологію отримання екстракту.

В розділі обґрунтовано перспективність розробки технології отримання екстракту хлорели для косметологічного застосування та визначено основні технологічні етапи для організації виробництва.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ, СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ, НАПІВПРОДУКТІВ

2.1 Характеристика готового продукту

Назва готового продукту: Екстракт хлорели для косметичного застосування.

Форма випуску: по 100 г у пляшках по 250 г (рис. 2.1., А).

Опис.

Зовнішній вигляд. Дрібнодисперсний порошок без грудочок, однорідний, темно-зеленого кольору (рис. 2.1., Б)

Запах. Натуральний, характерний для свіжої хлорели, без сторонніх запахів.

Фізико-хімічні властивості.

Вологість: не більше 8-10%.

Залишок при прокалюванні: не більше 5-7%.

Кількісний вміст:

- білка: не менше 50-58%.
- хлорофілу: не менше 1-2%.
- каротиноїдів: не менше 0,5%.
- вітаміну С: 75 ± 5 11,83 мг на 100 г порошку.

Мікробіологічна чистота:

- загальне число аеробних мікроорганізмів (ТАМС): не більше 10^2 КУО/г.
- відсутність патогенних бактерій (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*).
- загальне число дріжджових та плісневих грибів (ТУМС): не більше 10 КУО/г. (ДФУ 2.6)

Показники безпеки:

Важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, мідь і ін.): відсутність або у межах нормативів безпеки.

Пестициди і радіонукліди: відсутність.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Специфічні показники:

*Рівень розбиття клітинної стінки**: не менше 85 %.

* Показник, який відображає ступінь руйнування твердої клітинної стінки мікроводорості для підвищення біодоступності її активних речовин. Оскільки клітинна стінка хлорели дуже тверда і не перетравлюється організмом у цілому вигляді, її розбиття є необхідним для косметичних екстрактів.

Рівень руйнування забезпечує максимальне вивільнення корисних компонентів (хлорофілу, пептидів, вітамінів) і їхню ефективну дію на шкіру, гарантує, що екстракт має високу біодоступність і косметичну ефективність.

Умови зберігання: Зберігати в оригінальному упакованні для захисту від впливу світла при температурі від 2 до 8 °С.

Термін придатності: 2 роки. Термін придатності після відкриття упаковки, при зберіганні при температурі від 2 до 8 °С, - 10 діб.

Ці показники забезпечують підтвердження якості, безпеки та ефективності екстракту хлорели у вигляді порошку для косметичних цілей, що використовують для омолодження, зволоження, покращення тонушу шкіри, стимуляції колагену та захисту від окисного стресу.



Рис. 2.1 – Загальний вигляд готового продукту.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2.2 Характеристика сировини, матеріалів та напівпродуктів

Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів наведена у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів, що використовуються при виробництві продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках

Найменування	Категорія та номер НТД	Показники НТД, обов'язкові для перевірки	Примітка
1	2	3	4
1. Основна сировина			
<i>Chlorella vulgaris</i> UTEX 259	Паспорт культури	Чистота культури, життєздатність, фізіологічний стан, тест на токсини, відповідність м/о морфологічним ознакам	Виробнича культура м/о
Калію нітрат	НТД виробника		Компонент живильного середовища
Калію фосфат однозаміщений	ДСТУ 7274:2012	Зовнішній вигляд, колір, запах, вологість. Кальцій-іону, магній-іону, сульфат-іону, калій-іону, оксиду заліза (III), сульфату натрію, нерозчинного залишку, вологи, рН	Те ж
Магнію сульфат	ДСТУ 7274:2012	Масова частка кальцію та магнію карбонатів, речовин, нерозчинних в соляній кислоті, заліза, вологи, білизна	Те ж
Заліза сульфат	ДСТУ 2463	Зовнішній вигляд, кількісний вміст, волога	Те ж
ЕДТА	НТД виробника	Зовнішній вигляд, кількісний вміст, волога	Те ж
Мангану хлорид	ГОСТ 435	Зовнішній вигляд, кількісний вміст, волога	Те ж
Цинку сульфат	НТД виробника	Зовнішній вигляд, кількісний вміст, волога, водорозчинний цинк, рН, важкі метали	Те ж
Кобальту хлорид	НТД виробника	Зовнішній вигляд, кількісний вміст, волога	Те ж

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
Натрію молібдат	НТД виробника	Зовнішній вигляд, кількісний вміст, волога	Те ж
Вода очищена	ДФУ 2 вид., доп. 2, ст. 129 [20]	Опис, нітрати, вміст загального органічного вуглецю або речовини, що окиснюються, питома електропровідність, мікробіологічна чистота	Допоміжна речовина, розчинник
2. Допоміжна сировина			
Вода очищена	ДФУ 2 вид., доп. 2, ст. 129 [20]	Опис, нітрати, вміст загального органічного вуглецю або речовини, що окиснюються, питома електропровідність, мікробіологічна чистота	Для санпідготовки обладнання
Вода питна	ДСанПіН 2.2.4-171-10 [24]	Не входить до переліку сировини, що підлягає вхідному контролю.	Для отримання води очищеної та для санпідготовки
Водню пероксид	ОСТ 301-02-205-99, марка мед. ГОСТ 177-88, змін. №1, №3	Зовнішній вигляд, масова частка пероксиду водню, масова концентрація вільної кислоти (у перерахунку на сірчану кислоту), масова концентрація нелетючого залишку, вміст миш'яку, Мікробіологічна чистота	Для приготування дезінфікуючого розчину
Мийний засіб	НТД виробника, дозвіл на використання	Не входить до переліку сировини, що підлягає вхідному контролю	Для санобробки, для приготування дезрозчину
Спирт етиловий ректифікований	ДСТУ 4221:2003 «Екстра», «Вищої очистки»	Опис, колір, смак, запах, об'ємна частка етилового спирту, проба на чистоту із сірчаною кислотою, проба на окислюваність, мікробіологічна чистота	Для приготування дезінфікуючого розчину
Сульфанол	ТУ 075105 08. 135-98	Згідно з вимогами ТУ	Миючий засіб

1	2	3	4
Хлорне вапно	ГОСТ 1692- 85	Не входить до переліку сировини, що підлягає вхідному контролю	Дезінфекція обладнання
3. Матеріали:			
Етикетки самоклейки	ТУ 9570- 001-13866117- 2009	Щільність, товщина, ширина бобіни, зовнішній вигляд	Для етикетування
Картон для споживчої тари	160 г/м ² ГОСТ 7933-89 або по ТУ 13-0281020-97-90	Зовнішній вигляд, вологість, ширина бобіни, маса, товщина	Для формування пачки
Пляшки пластикові 250 мл з кришками	НТД виробника, дозвіл на використання	Зовнішній вигляд, розміри	Первинна упаковка
Марля медична	ТУ У 24.4-34588794-001:2007 Тип 17, шир. 90 см	Не входить до переліку сировини, що підлягає вхідному контролю	Для допоміжних цілей
Рукавички медичні	ДСТУ EN 455-3:2019	Не входить до переліку сировини, що підлягає вхідному контролю	Для захисту рук
Скотч	ГОСТ 20477-86	Ширина стрічки, товщина клейового шару, довжина, липкість	Для транспортної тари
3. Проміжні продукти			
Живильне середовище стерилізоване	Методика міжопераційного контролю	рН, стерильність, об'єм	Стадія ДР 2. Операція ДР 2.2
Посівний матеріал 4-ї генерації	Те ж	Чистота, життєздатність фізіологічний стан, рН, температура, нітрати, фосфати, токсини, об'єм	Стадія ТП 3
Культуральна рідина	Те ж	чистота, життєздатність, концентрація клітин, фізіологічний стан, рН, температура, розчинений СО ₂ , нітрати, фосфати, токсини	Стадія ТП 4

Зруйнована біомаса	Те ж	ефективність руйнування, збереження біоактивних речовин, рН суспензії, температура, чистота, токсини	Стадія ТП 5
Сухий екстракт хлорели	Те ж	Вологість, вміст БАР, чистота, розмір частинок, сипучість, відсутність ендотоксинів і мікотоксинів	Стадія ТП 6
Пляшки з сухим екстрактом	Те ж	Об'єм наповнення, якість укупорювання та маркування	Стадія ПМВ 7

2.3. Характеристика біологічного об'єкту

Chlorella vulgaris — це одноклітинна зеленокольорова мікроводорість, що характеризується високим вмістом білка, хлорофілу, каротиноїдів, вітамінів і мінералів, що робить її цінною сировиною для косметичних екстрактів.

Це рід мікроскопічних одноклітинних зелених водоростей, що мають сферичну форму. Клітини хлорели нерухомі, не мають джгутиків, зовні вкриті твердою двоконтурною оболонкою целюлозної природи, іноді з додатковим шаром спорополеніну, що надає їй хімічної стійкості та механічної міцності. В цитоплазмі міститься один чашоподібний хлоропласт з одним піреноїдом, який оточений крохмальною обгорткою. Ядро клітини є, але без спеціальної обробки його важко візуалізувати. Запасні речовини — крохмаль і безбарвна олія. Хлорела не утворює колоній чи агрегатів, є автотрофом, який здійснює фотосинтез за допомогою хлорофілів а і b.

За морфометричними характеристиками діаметр клітин зазвичай коливається у межах 3–10 мкм, товщина клітинної стінки становить близько 0,3–0,5 мкм, що забезпечує захист від несприятливих умов середовища. Клітинна стінка є бар'єром для багатьох речовин, тому для отримання екстрактів її часто руйнують механічно або ультразвуком.

Хлорела є фототрофним організмом, для росту якого необхідні вода, вуглекислий газ, світло та мінімальна кількість мінеральних речовин. Вона мешкає переважно у прісних водоймах, таких як ставки, канали, озера, де може утворювати масивні популяції. [7, 9, 10, 18]

Оптимальні умови культивування: температура 24–28 °С, достатнє освітлення (часто штучне у біореакторах), аерація з подачею CO₂, збалансований склад поживного середовища.

Як біоб'єкт хлорела відзначається високою швидкістю росту і здатністю накопичувати цінні біомолекули (рис. 2.2), має здатність зв'язувати і виводити токсичні метали, що робить її перспективною для детоксикації.

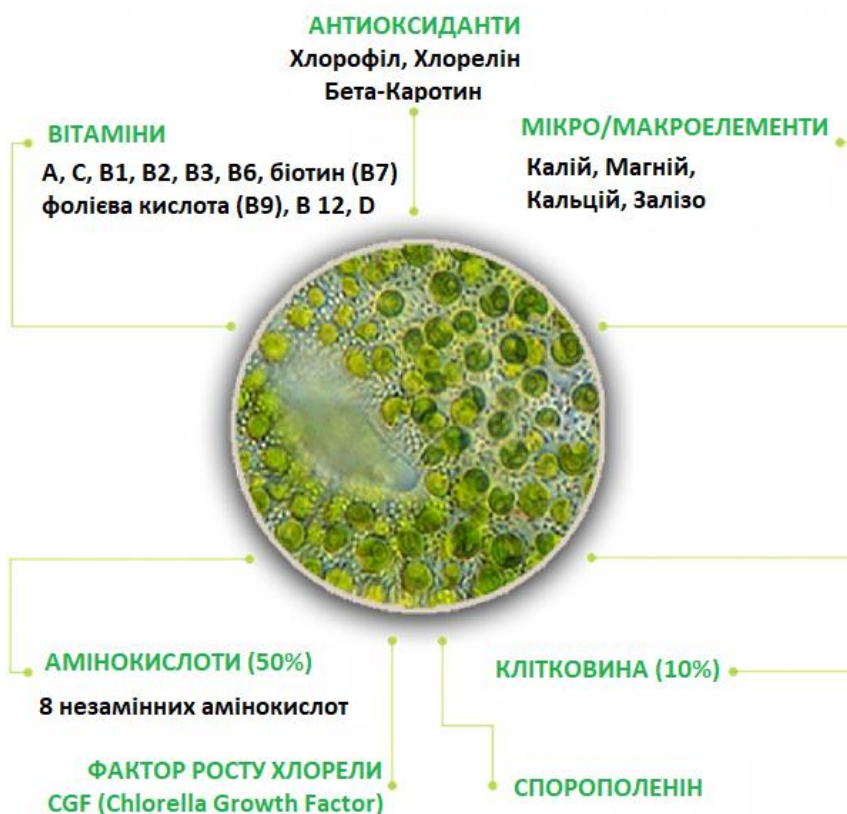


Рис. 2.2 – Складові сполуки *Chlorella vulgaris*. [7]

Основний склад промислової біомаси *Chlorella vulgaris*, % сухої речовини [7]:

Ліпіди 22,17 ± 0,46

Вуглеводи 33,84 ± 1,33

Білок 44,48 ± 0,77

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Зола $5,63 \pm 0,06$

Вологість $2,32 \pm 0,12$

Для отримання екстракту хлорели, призначеного для косметологічного застосування, вибір штаму є ключовим фактором, оскільки різні штами *Chlorella vulgaris* та інших видів хлорели мають відмінності у складі біоактивних речовин (білків, ліпідів, пігментів, полісахаридів, вітамінів), стійкості до культивування та ефективності руйнування клітинних стінок. На основі літературних даних і практичного досвіду в біотехнології, нами рекомендовано використання штамів *Chlorella vulgaris* UTEX 259 або *Chlorella vulgaris* SAG 211-11b.

Chlorella vulgaris UTEX 259 відомий високим вмістом білків (50–60% від сухої маси), хлорофілу (1–2%), β -каротину (0,1–0,5%) та поліненасичених жирних кислот (наприклад, омега-3). Ці компоненти мають антиоксидантні, зволожувальні та регенеруючі властивості, ідеальні для косметичних засобів (кремів, масок, сироваток).

Chlorella vulgaris SAG 211-11b характеризується підвищеним вмістом полісахаридів (до 20%) і пігментів, які сприяють заспокоєнню шкіри та захисту від УФ-пошкоджень. Також має високий вміст вітамінів групи В і мікроелементів (цинк, залізо), що підтримують здоров'я шкіри.

Штами UTEX 259 і SAG 211-11b доступні в міжнародних колекціях культур (UTEX Culture Collection, SAG Culture Collection), що полегшує їх придбання для промислового виробництва. Мають історію безпечного використання в косметичних і харчових добавках, що спрощує їх сертифікацію для ринку. Мають високу продуктивність біомаси (1–5 г/л за 96 годин). Легкість екстракції знижуватиме собівартість виробництва

Для косметологічного застосування обрано штам *Chlorella vulgaris* UTEX 259 завдяки високому вмісту білків, пігментів і мікроелементів, легкості руйнування клітин і стійкості до промислового культивування. *Chlorella vulgaris* SAG 211-11b перспективна, якщо акцент робиться на

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

полісахаридах і протизапальних властивостях. Вибір між ними залежить від цільового складу екстракту та специфіки косметичного продукту.

2.4 Біосинтез цільового продукту

Chlorella є перспективним біооб'єктом завдяки здатності синтезувати значні об'єми біологічно активних речовин, таких як вуглеводи, білки, ліпіди та пігменти. Її культивування може здійснюватися у чотирьох основних режимах: фотоавтотрофному, гетеротрофному, міксотрофному та фото-гетеротрофному, що дозволяє оптимізувати ріст і накопичення метаболітів залежно від умов середовища.

Біосинтез цінних продуктів у хлорели базується на метаболізмі вуглецю та азоту. Вуглеводи представлені як простими цукрами (моно- і дисахаридами), так і складними полісахаридами (крохмаль, целюлоза, екзополісахариди). Крохмаль, який складається з амілози та амілопектину, накопичується у хлоропластах і слугує основним енергетичним резервом. Целюлоза є структурним компонентом клітинної стінки. Вуглеводний склад хлорели робить її перспективною сировиною для біоетанолу. [13, 16, 29, 31]

Білки хлорели містять повний набір амінокислот і становлять значну частку сухої маси.

Ліпіди представлені як насиченими, так і ненасиченими жирними кислотами, включно з поліненасиченими, що мають високу біологічну цінність.

Пігменти — хлорофіл, каротиноїди, фукоксантин — виконують не лише фотосинтетичну функцію, а й володіють антиоксидантними властивостями.

Метаболічні шляхи синтезу цих речовин тісно пов'язані з умовами культивування. Зокрема, додавання зовнішніх джерел вуглецю (наприклад, глюкози) і азоту (нітратів) значно підвищує продуктивність біомаси і накопичення цінних метаболітів. Режими культивування, що комбінують

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

фотосинтез і органічне живлення (міксотрофія), дозволяють оптимізувати баланс між ростом і синтезом біоактивних сполук.

Розуміння комплексного уявлення про біохімію, фізіологію та технологічні аспекти виробництва екстрактів хлорели сприяють розвитку індустріальних систем культивування і широкому застосуванню цих біоактивних сполук у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості.

Висновок до розділу 2:

Наведено опис та основні властивості готового продукту. Проведено аналіз сировини та матеріалів, що застосовують у виробничому процесі. Визначено основні показники якості сировини та матеріалів для забезпечення отримання якісної продукції.

Описано властивості та характеристики хлорели, яка є об'єктом роботи та загальні метаболічні шляхи біосинтезу цінних речовин хлорели.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок матеріального балансу

За проектом пропонується організація виробництва екстракту хлорели з розміром серії 100 кг сухого порошку.

Припустимо, що вихід сухої біомаси хлорели становить близько 10% від маси свіжої біомаси, а вихід сухого екстракту — приблизно 50% від сухої біомаси (враховуючи втрати при екстракції і сушінні).

Тоді для отримання 100 кг сухого екстракту потрібно 200 кг сухої біомаси хлорели.

Оскільки суха біомаса — 10% від свіжої, необхідно виростити близько 2000 кг (2 тонни) свіжої біомаси.

Об'єм живильного середовища для вирощування залежить від концентрації клітин у середовищі. Практичний діапазон концентрацій сухої біомаси для хлорели у промислових умовах становить 1–4 г/л, приймаємо 3 г/л.

Тоді, об'єм середовища ($V_{жс}$):

$$V = \frac{M_{см}}{C_{см}} = \frac{200000}{3} \approx 66\,667 \text{ л}$$

де $M_{см}$ – вага сухої маси хлорели на серію, г; $C_{см}$ – концентрація сухої біомаси з 1 л середовища, г/л.

Тобто, для отримання 200 кг сухої біомаси необхідно отримати близько 66 700 літрів культуральної рідини.

Розрахуємо вихідну кількість живильного середовища та інокуляту для отримання такої кількості культуральної рідини з урахуванням втрат [26]. На втрати через унесення додаємо 10 %:

$$66700 + 10\% = 73370 \text{ л.}$$

Розрахуємо кількість посівного матеріалу для засіву середовища, Приймаємо інокулят в кількості 5%.

$$73370 \text{ л} \times 0,05 = 3668,5 \approx 3700 \text{ л}$$

Тоді кількість середовища для основної ферментації складе :

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$73370 - 3700 = 69670 \text{ л}$$

Розрахуємо кількість середовища для приготування посівного матеріалу для засіву основного ферментеру з урахуванням втрат через унесення 10 %:

$$3700 + 10 \% = 4070 \text{ л.}$$

Розрахуємо кількість генерацій для отримання посівного матеріалу та матеріальний баланс для генерацій.

Густина живильного середовища близька до води (1 кг/л), тобто маса буде дорівнювати об'єму.

Розрахуємо кількість інокуляту для отримання 4070 л посівного матеріалу:

$$4070 \times 0,05 = 203,5 \text{ л}$$

Для отримання 203,5 л попередньої генерації необхідно інокуляту:

$$203,5 + 10 \% = 223,85 \text{ л}$$

$$223,85 \times 0,05 = 11,20 \text{ л}$$

Для отримання 11,20 л попередньої генерації необхідно інокуляту:

$$11,20 + 10 \% = 12,32 \text{ л}$$

$$12,32 \times 0,05 = 0,62 \text{ л} \approx 620 \text{ мл}$$

Для отримання 620 мл попередньої генерації необхідно інокуляту:

$$620 \times 0,05 = 31 \text{ мл}$$

Отже, необхідно провести 4 генерації культури.

Розрахуємо кількість середовища для проведення 4 генерацій.

Генерація 4 має загальний об'єм 4070 л. Для її отримання за розрахунком необхідно 203,5 л культури 3 генерації. Тоді, об'єм середовища для отримання 4 генерації складе:

$$4070 - 203,5 = 3866,5 \text{ л}$$

Аналогічно розраховано решту генерацій. Результати зведено в таблицю 3.1.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Розрахунок матеріального балансу для генерацій 1-4

Генерація	Об'єм, л			
	Загальний	Інокулят	Середовище (розрахунок)	Середовище (фактично)*
Відновлення	0,031	Не розраховується		0,031
1	0,62	0,031	0,59	0,61
2	11,2	0,62	10,58	10,90
3	203,5	11,2	192,3	198
4	4070,00	203,5	3866,5	3983,00
Всього:				4192,5 ≈ 4200 л

* з урахуванням втрат на приготуванні, стерилізації та технологічні 3 % (в середньому).

Отже, необхідно 4200 л живильного середовища для отримання 4 генерацій посівного матеріалу.

Для основного культивування кількість живильного середовища було розраховано вище та склала 69670 л.

З урахуванням втрат 3 % :

$$69670 + 3 \% = 71760 \text{ л}$$

Загальна необхідна для виробництва серії кількість середовища складає:

$$71760 + 4200 = 75960 \text{ л} \approx 76\,000 \text{ л або } 76 \text{ м}^3$$

Матеріальний баланс після ферментаційних стадій виробництва продукту продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках наведено в таблиці 3.2.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 3.2 – Матеріальний баланс післяферментаційних стадій виробництва продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках

Найменування	Вміст осн. речовини, % Волога %	Витрачено та отримано				
		Маса, кг			Об'єм, л	Кількість, шт
		Загальна	Основної речовини	Кг/моль		
1	2	3	4	5	6	7
Витрачено на Стадія ТП 5. Виділення біомаси від середовища культивування						
<i>Б. Напівпродуктів:</i>						
Культуральна рідина		76000,0				
Вода очищена		1520,0				
Всього:		77520,0				
Отримано на Стадії ТП 5.						
<i>Б. Напівпродуктів:</i>						
Біомаса зі зруйнованими клітинами		3040,0				
<i>В. Відходів:</i>		-				
<i>Г. Втрат:</i>						
Залишки культуральної рідини		74480,0				
Всього:		77520,0				
Витрачено на Стадії ТП 6. Отримання екстракту водорості						
<i>Б. Напівпродуктів:</i>						
Біомаса зі зруйнованими клітинами		3040,0				
Вода очищена		3040,0				
Всього:		6080,0				
Отримано на Стадії ТП 6.						
<i>Б. Напівпродуктів:</i>						
Сухий екстракт хлорели		102,0				
<i>В. Відходів:</i>						
<i>Г. Втрат:</i>						
Вода (висушування)		4808,0				
Технологічні		56,0				
Всього:		6080,0				

1	2	3	4	5	6	7
Витрачено на стадії ПМВ 6. Пакування, маркування та відвантаження готового продукту.						
<i>Б. Напівпродуктів:</i>						
Сухий екстракт хлорели		102,0				
<i>В. Матеріали:</i>						
Пляшки з кришками						408
Всього:		102,0				408
Отримано на стадії ПМВ 7.						
<i>А. Готового продукту:</i>						
«Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках		100,0				400
<i>В. Відходів:</i>						
<i>Б. Втрат:</i>						
Сухий екстракт хлорели (технологічні та на контроль)		2,0				
Пляшки з кришками						8
Всього:		102,0				408

3.2 Розрахунок і вибір основного та допоміжного обладнання

Здійснюючи вибір основного та допоміжного обладнання для організації виробництва екстракту хлорели, враховували рекомендації, надані фахівцями компанії ТОВ «Інженіум груп», яка спеціалізується на проектуванні виробничих ділень для фармацевтичної та біотехнологічної галузей. При підборі обладнання враховували об'єм серії, запропонований для проекту, пропозиції ринку технологічного обладнання та технічні характеристики, які повинні забезпечувати проектовану продуктивність з урахуванням вимог GMP та HACCP. [21, 24-26]

3.2.1. Обладнання для отримання генерацій 1-4.

Розрахуємо необхідну ємність ферментеру для отримання генерацій посівного матеріала для вибору обладнання для виробничої дільниці.

Для отримання культури 1 генерації за розрахунками використовують посівний матеріал в кількості 31 мл, який інокують в 590 мл середовища.

Розрахуємо, якої місткості треба використати колби для культивування з урахуванням коефіцієнту заповнення 0,2:

$$V_{\text{ф}} = V/K_{\text{зап}} = (590 + 31) / 0,2 = 3105 \text{ мл або } 3,1 \text{ л.}$$

Запропоновано в якості інокулятора для першої генерації використання 3-х колб Ерленмейера місткістю по 1000 л, загальним об'ємом 3000 л.

Для отримання культури 2 генерації до середовища в кількості 10,58 л додають посівний матеріал в кількості 0,62 л.

Розрахуємо, якої місткості треба використати ферментер для культивування з урахуванням коефіцієнту заповнення 0,6:

$$V_{\text{ф}} = V/K_{\text{зап}} = (10,58 + 0,62) / 0,6 = 18,7 \text{ л.}$$

Запропоновано в якості інокулятора для 2 генерації використання скляного бутля місткістю 20 л, встановленого на шутель-апарат для струшування.

Для отримання культури 3 генерації до середовища в кількості 192,3 л додають посівний матеріал в кількості 11,2 л.

Розрахуємо, якої місткості треба використати ферментер для культивування з урахуванням коефіцієнту заповнення 0,6:

$$V_{\text{ф}} = V/K_{\text{зап}} = (192,3 + 11,2) / 0,6 = 339 \text{ л.}$$

Запропоновано в якості інокулятора для 3 генерації використання ферментера з робочим об'ємом 350-400 л (поз за схемою ГФ 11).

Для отримання культури 4 генерації до середовища в кількості 3866,5 л додають посівний матеріал в кількості 203,5 л.

Загальна кількість – 4070 л.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропоновано в якості інокулятора для 4 генерації використання фітобіореактора із плоскими панелями об'ємом 5000-10000 літрів (поз. за схемою ГФ 13). Підбір та розрахунок для ГФ 13 див. п. 3.2.2.

3.2.2 Фасувально-пакувальний автомат ГФ 20

Для наповнення та закупорювання пляшок запропоновано використання фасувально-пакувального автомату марки УФП-25 А з продуктивністю по 25 доз/хв. За даними матеріального балансу на наповнення надходить 400 пляшок.

Для апаратів безперервної дії розраховують кількість одиниць обладнання за формулою 3.1 [26]:

$$N = M_{зм} / (T_{эф.р.} \times m) \quad (3.1)$$

де N – кількість апаратів, од;

$M_{зм}$ – кількість продукту, що оброблюється на апараті за зміну, шт.;

$T_{эф.р.}$ - ефективний час роботи апарату за зміну, год (4-6 год при 8-годинній зміні);

m – продуктивність апарату, пляшок./год.

$$N = 400 / (5 \times 1500) = 0,06$$

Отже, 1 одиниці достатньо.

Розрахуємо тривалість роботи за формулою 3.2 [26]:

$$Tp = \frac{G_1}{q} * n \quad (3.2)$$

де Tp – час роботи, год.; G_1 – кількість продукту, що переробляється за цикл, шт; q – продуктивність машини кг/год; n – число машин або установок.

$$Tp = 400 / 1500 = 0,3$$

Визначимо коефіцієнт ефективності використання $K_{эф. вик}$ за формулою 3.3 [26]:

$$K_{эф. вик.} = (T_{ф.р.} + T_{п.з.}) / T_{зм}, \quad (3.3)$$

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Де $T_{ф.р.}$ – фактичний час роботи обладнання, год; $T_{п.з}$ – час на підготовчо-заготівельні операції обладнання (зборка, вихід на режим роботи, розбирання та мийка), год (у середньому 1 – 1,5 год); $T_{зм}$, - тривалість зміни, год.

$$K_{ef. вик.} = (0,3 + 1,5) / 8 = 0,23$$

Отже, запропонований автомат має задовільну продуктивність для запланованого розміру серії та потенціал для збільшення розміру серії.

3.2.3. Розрахунок основного апарату – Фітобіореактор-інокулятор ГФ 13

Нами було розраховано, що для отримання генерації посівної культури об'ємом 4070 л потрібно мати ферментер об'ємом 7000-10000 літрів. В якості такого ферментеру для культивування хлорели запропоновано фітобіореактор із плоскими панелями об'ємом 10000 літрів (10 м³).

Такий фітобіореактор є ефективним рішенням для середньомасштабного виробництва. Плоскі панельні біореактори забезпечують високу продуктивність завдяки великій поверхні для освітлення та компактності.

Загальний опис фітобіореактора

Плоский панельний фітобіореактор складається з серії вертикальних або горизонтальних прозорих панелей, заповнених культуральною рідиною, в якій вирощується хлорела. Панелі забезпечують максимальне проникнення світла для фотосинтезу, а система аерації та циркуляції підтримує гомогенність культури, подачу CO₂ і поживних речовин. Такий реактор підходить для закритих приміщень або зовнішнього використання з природним чи штучним освітленням.

Проаналізуємо технічні характеристики.

Загальний об'єм: 10000 літрів (10 м³).

Розрахунок панелей:

Типовий об'єм однієї панелі: товщина 5 см (0,05 м), що є доцільним для ефективного освітлення і продуктивності.

Розміри однієї панелі, м: висота 2, ширина 1, товщина 0,05.

Розрахуємо об'єм однієї панелі:

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2 \text{ м} \times 1 \text{ м} \times 0,05 \text{ м} = 0,1 \text{ м}^3 = 100 \text{ літрів.}$$

Розрахуємо кількість панелей:

$$\text{Для } 4070 \text{ л: } 4070 \text{ л} / 100 \text{ л} = 40,7 \text{ або } 41 \text{ панель.}$$

З урахуванням робочого об'єму (80–90% від загального через аерацію та циркуляцію), потрібно ~ 45-50 панелей.

Розрахунок площі для розміщення фітобіореактору.

$$\text{Площа однієї панелі: } 2 \text{ м} \times 1 \text{ м} = 2 \text{ м}^2 \text{ (одна сторона).}$$

$$\text{Загальна площа панелей: } 50 \text{ панелей} \times 2 \text{ м}^2 = 100 \text{ м}^2 \text{ (для однієї сторони, доступної для освітлення).}$$

Панелі розміщуються вертикально з відстанню між ними 0,5–1 м для забезпечення доступу світла та обслуговування.

При відстані 0,5 м між панелями і розміщенні в ряди, загальна площа системи складе:

$$\text{Ширина одного ряду: } \sim 0,55 \text{ м (0,05 м товщина панелі} + 0,5 \text{ м відстань).}$$

$$\text{Для } 50 \text{ панелей у } 5 \text{ рядів по } 10 \text{ панелей:}$$

$$\text{Довжина: } 10 \text{ панелей} \times 1 \text{ м (ширина панелі)} + 9 \text{ проміжків} \times 0,5 \text{ м} = 14,5 \text{ м.}$$

$$\text{Ширина: } 5 \text{ рядів} \times 0,55 \text{ м} = 2,75 \text{ м.}$$

$$\text{Загальна площа: } 14,5 \text{ м} \times 2,75 \text{ м} \approx 40 \text{ м}^2.$$

Додатково потрібна площа для допоміжного обладнання (насоси, резервуари, системи контролю): ~20–30 м².

$$\text{Загальна необхідна площа складе: } \sim 60\text{--}70 \text{ м}^2.$$

Розрахуємо габаритні розміри системи:

Розміри реактора (без допоміжного обладнання):

$$14,5 \text{ м} \times 2,75 \text{ м} \times 2,5 \text{ м (2 м висота панелей} + 0,5 \text{ м для каркасу та трубопроводів).}$$

Площа для допоміжного обладнання:

- Резервуар для поживного середовища: ~1–2 м³.
- Система аерації та насоси: компактні, займають ~2–3 м².
- Система освітлення (штучна): LED-панелі над або між панелями.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Освітлення

Природне освітлення: інсоляція 1000–2000 Вт/м².

Штучне освітлення: LED-панелі з довжиною хвилі 620–630 нм (червоний спектр) і 450–460 нм (синій спектр) для фотосинтезу хлорели.

Потужність: ~50–100 Вт/м².

Загальна потужність: $200 \text{ м}^2 \times 50\text{--}100 \text{ Вт/м}^2 = 10\text{--}20 \text{ кВт}$.

Світловий цикл: 12–16 годин на добу.

Аерація та циркуляція

Подача CO₂: Барботажна система з дифузорами в кожній панелі, витрата CO₂ ~0,1–0,2 г/л/день (407–814 г/день для 4070 л).

Насоси: Циркуляційні насоси для змішування культури, продуктивність ~10–20 м³/год.

Аерація: Компресори для подачі повітря (0,1–0,5 об'ємів повітря на об'єм реактора за хвилину).

Система моніторингу параметрів:

Датчики рН (оптимально 6,5–8,0).

Датчики температури (20–30°C).

Датчики концентрації клітин (оптична щільність).

Автоматизована система подачі поживних речовин (азот, фосфор, мікроелементи).

Енергоспоживання системи контролю: ~1–2 кВт.

Продуктивність

- Загальний вихід: $4070 \text{ л} \times 3 \text{ г/л} = 12,210 \text{ кг}$ сухої біомаси за цикл (5–10 днів).

Загальне енергоспоживання:

12–25 кВт (освітлення, насоси, аерація, контроль).

Загальний вигляд фітобіореактора наведено на рис. 3.1.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

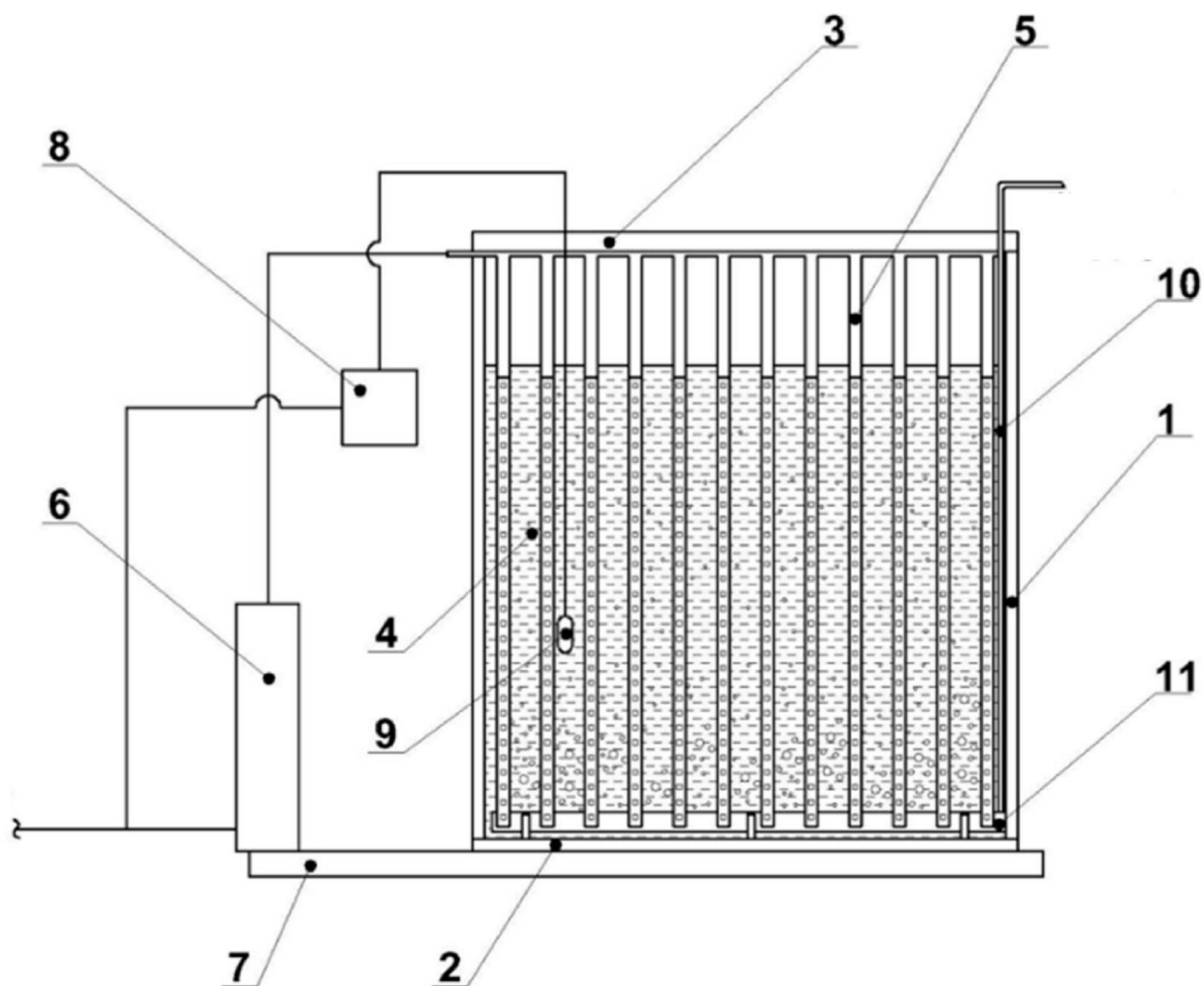


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд фітобіореактора-інокулятора моделі ФБР-ПП 10000.

Таблиця 3.3 - Перелік складових частин фітобіореактора-інокулятора моделі ФБР-ПП 10000

Фор	Зона	Поз.	Позн ачен ня	Найменування	Кільк.	Прим ітка
1	2	3	4	5	6	7
			1	Резервуар	1	
			2	Дно	1	
			3	Кришка	1	

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
			4	Підвіс	1	
			5	Світлодіодний модуль		
			6	Блок живлення світлодіодного модуля	1	
			7	Платформа	1	
			8	Індикатор температури	1	
			9	Датчик температури	1	
			10	Трубка подачі ЖС	1	
			11	Розпилювач ЖС	1	

3.3 Опис технологічного процесу

Технологічний процес отримання продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» в пляшках по 0,25 кг організований за стадіями:

ДР 1. Санітарна підготовка виробництва

ДР 2. Приготування живильного середовища

ДР 3. Вирощування посівного матеріалу

ТП 4. Вирощування біомаси водорості

ТП 5. Виділення біомаси від середовища культивування

ТП 6. Отримання екстракту водорості

ПМВ 7. Пакування, маркування та відвантаження готового продукту

Стадія ДР 1. Санітарна підготовка виробництва

Санітарна підготовка виробництва є невід'ємною складовою забезпечення безпеки і якості продукції, особливо у біотехнологічних процесах, таких як отримання екстракту хлорели. Вона включає комплекс заходів з обробки повітря робочої зони, приміщень, обладнання, а також підготовку персоналу і технологічного одягу. [19-21].

Обробка повітря робочої зони здійснюється за допомогою систем вентиляції з високоефективними фільтрами (HEPA), які очищують повітря від пилу, мікроорганізмів і сторонніх часток. Для додаткової стерилізації застосовують ультрафіолетове опромінення, що знижує ризик контамінації виробничого середовища. Регулярний моніторинг чистоти повітря забезпечує підтримку санітарно-гігієнічних норм. (К 1.1)

Санітарна обробка приміщень і обладнання включає вологе прибирання з використанням дезінфікуючих розчинів, які знищують бактерії, грибки та віруси. Особлива увага приділяється важкодоступним місцям, поверхням, що контактують із біомасою, та технологічним лініям. Обладнання після кожного виробничого циклу проходить ретельне очищення і стерилізацію за використання CIP/SIP мийки, знімні частини та дрібне обладнання - в автоклавах, термонестійке або яке короде - за допомогою

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хімічних дезінфектантів, дозволених до використання у виробництві. Контролюють мікробну контамінацію поверхонь приміщень та обладнання. (К 1.2)

Підготовка персоналу передбачає навчання санітарним нормам, гігієнічним правилам і правилам безпеки. Працівники повинні дотримуватися особистої гігієни: регулярного миття рук, використання антисептиків, а також носіння чистого технологічного одягу — халатів, шапочок, рукавичок і бахіл. Технологічний одяг має бути виготовлений із матеріалів, що не накопичують пил і легко піддаються дезінфекції. Забороняється виходити за межі виробничої зони у спецодязі, щоб уникнути перенесення забруднень. Контролюють мікробну контамінацію рук (рукавичок) персоналу (К 1.3)

Комплексна санітарна підготовка забезпечує мінімізацію ризиків мікробного забруднення, підтримку стерильності виробничого процесу та гарантує якість і безпеку кінцевого продукту.

Стадія ДР 2. Приготування живильного середовища

Операція ДР 2.1. Приготування живильного середовища

Для приготування збалансованого живильного середовища використовують речовини, які є макро- (азот, фосфор, калій) та мікрокомпонентами (залізо, бор, молібден, мідь тощо), розчинник - воду очищену.

Перед початком роботи технолог або майстер зміни розраховують необхідні кількості компонентів середовища. Кількість компонентів для серії 76000 л середовища з урахуванням втрат з унесенням при культивуванні та технологічними втратами (залишки в ємкостях та матеріалопроводах, випаровування при стерилізації) наведено в табл. 3.3.

На вагах КП 1 та дозувальному пристрої КП 2 зважують наважки калію нітрату, калію фосфату одно заміщеного, магнію сульфату, заліза сульфату, ЕДТА та розчину мікроелементів, приготованого на окремій ділянці. Приготування середовища ведуть в 2-х промислових змішувальних реакторах

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

об'ємом 50 м³, призначений для приготування живильного середовища для культивування хлорели. Реактори Р 3 забезпечують гомогенне змішування поживних речовин (азот, фосфор, мікроелементи), регулювання рН і температури, а також стерилізацію.

Таблиця 3.3 – Склад живильних середовищ на серію

Компоненти	Кількість			Функція
	1 л, г	Посівний матеріал (4200 л), кг	Загальна на серію (76000 л), кг	
1	2	4	5	6
Калію нітрат KNO ₃	5,0	21,000	380,000	Джерело азоту
Калію фосфат однозаміщений KH ₂ PO ₄	1,25	5,250	95,000	Джерело фосфору, буферний агент
Магнію сульфат (MgSO ₄ ·7H ₂ O)	2,5	10,500	190,000	Джерело магнію та сірки
Заліза сульфат FeSO ₄ ·7H ₂ O	0,009	0,038	0,684	Джерело заліза
ЕДТА	0,037	0,155	2,812	Хелатуючий агент
Мікроелементи, в тому числі:	1 мл	4,2	76,0	
Мангану хлорид MnCl ₂ ·4H ₂ O	0,00181			Джерело мангану
Цинку сульфат ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,00022			Джерело цинку
Кобальту хлорид CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,00001 г			Джерело кобальту
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,00039 г			Джерело молібдену
Вода очищена	решта	решта	решта	

В реактори Р 9 завантажують воду очищену з дільниці водопідготовки, через автоматичний дозувальний пристрій КП 2 компоненти середовища при перемішуванні та розчиняють до повної гомогенності 1-2 год. Зупиняють мішалку та доводять об'єм до необхідного – 76 000 л.

Контролюють вагу компонентів та об'єм середовища (К 2.1.1), рН, який корегують додаванням NaOH або HCl для досягнення рН 6,5–8,0. (К 2.1.2)

Операція ДР 2.2. Стерилізація живильного середовища.

Стерилізацію середовища проводять на місці, в реакторах Р 3. Подають пару в сорочку та при досягненні температури середовища 121 °С та тиску 0,1 МПа витримують 30 хв. Вмикають подачу розсолу в сорочку та охолоджують середовище до температури культивування хлорели – 24-28 °С. (К 2.2.1).

Відбирають пробу для контролю стерильності (К 2.2.2).

Простерилізоване живильне середовище використовують на стадіях ТП 3 та ТП 4.

Стадія ТП 3. Підготовка посівного матеріалу.

Операція ТП 3.1 Вирощування інокуляту мікроводорості.

Посівний матеріал отримують із чистої культури хлорели, яку вирощують у стерильних умовах. Тривалість вирощування — 5–7 днів до досягнення оптимальної концентрації клітин.

Контролюють умови вирощування посівного матеріалу:

- рН середовища — 7,0–7,5
- Температура — 24–28 °С
- Освітлення — 3000–4000 люкс, 12–16 годин світла на добу.
- Аерація (подача CO₂ 1–5%) (К 3.1.1)

Підготовка посівного матеріалу хлорели для генерацій 1–4 проводиться в лабораторії культивування в контрольованих умовах. Використовуються приміщення з локальною зоною чистоти класу В для початкових етапів і класу С для масштабування засівної культури. Процес охоплює відновлення штаму, послідовне масштабування в колбах, бутлі та ферментері, контроль якості та передачу на ферментацію.

Відновлення культури

Ліофілізований штам *Chlorella vulgaris* ресуспендують у 3 мл стерильного фізіологічного розчину (0,9% NaCl). Суспензію розподіляють по 1 мл у три

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

стерильні колби Ерленмейєра об'ємом 50 мл, кожна з яких містить 10 мл живильного середовища, підготовленого на етапі ДР 2.

Колби інкубують на орбітальному шейкері при 28°C, 150 об/хв, із освітленням 100–150 мкмоль/м²/с (світловий цикл 16 год світла / 8 год темряви) протягом 24 годин (К 3.1.1).

Контролюють:

- Чистота: відсутності бактеріальних або грибкових контамінантів.
- Життєздатність: Оптична густина (OD680) 0,5–1,5, що відповідає концентрації клітин $\sim 1\text{--}3 \times 10^6$ клітин/мл.
- Фізіологічний стан: Оцінка фотосинтетичної активності (вимірювання хлорофілу а/б) і морфології клітин (мікроскопія, відсутність аномальних форм).
- Фізико-хімічні параметри: рН 6,8–7,8, температура 26–30°C, нітрати 1–2 г/л, фосфати 0,1–0,2 г/л.
- Тест на токсини: Відсутність ендотоксинів (LAL-тест) і мікотоксинів (К 3.1.2).

Вихід: 31 мл посівного матеріалу 1-ї генерації.

Отримання культури 1-ї генерації

Вміст трьох колб (31 мл інокуляту) у рівних частках переносять у три колби місткістю 1000 мл, заповнені 590 мл ($200 \pm 5 \times 3$) живильного середовища (етап ДР 2). Колби інкубують в режимі, як для відновлення культури. (К 3.1.3).

Контроль якості:

Чистота: відсутність контамінації.

Життєздатність: OD680 1,0–2,0 ($\sim 3\text{--}5 \times 10^6$ клітин/мл).

Фізіологічний стан: Перевірка фотосинтетичної активності ($F_v/F_m \geq 0,6$) і морфології (однорідні сферичні клітини).

Фізико-хімічні параметри: рН 6,8–7,8, температура 26–30°C, концентрація нітратів 0,8–1,5 г/л, фосфатів 0,08–0,15 г/л.

Тест на токсини: Відсутність ендотоксинів і мікотоксинів (К 3.1.4).

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихід: 620 мл посівного матеріалу 1-ї генерації.

Отримання культури 2-ї генерації

Весь посівний матеріал 1 генерації (620 мл інокуляту) переносять у бутель об'ємом 20 л, заповнений 10,58 л живильного середовища (робочий об'єм ~85%). Бутель інкубують у термостатованій кімнаті при 28°C, 150 об/хв, із освітленням 150–200 мкмоль/м²/с протягом 24–36 годин (К 3.1.5).

Контроль якості:

Чистота: відсутність контамінації.

Життєздатність: OD680 1,5–3,0 (~5–10×10⁶ клітин/мл).

Фізіологічний стан: Висока фотосинтетична активність ($F_v/F_m \geq 0,65$), однорідна морфологія.

Фізико-хімічні параметри: рН 6,8–7,8, температура 26–30°C, нітрати 0,5–1,0 г/л, фосфати 0,05–0,1 г/л.

Тест на токсини: Відсутність ендотоксинів і мікотоксинів (К 3.1.6).

Вихід: 11,2 л посівного матеріалу 2-ї генерації.

Отримання культури 3-ї генерації

Культуру 3-ї генерації (11,2 л) переносять у інокулятор малий ГФ 5 з 192,3 л живильного середовища. Ферментер працює при 28°C, 100–150 об/хв, аерація 0,5–1,0 vvm, освітлення 200–300 мкмоль/м²/с (LED) протягом 48–72 годин (К 3.1.7).

Контролюють показники, як для 2 генерації, додатково - розчинений CO₂ 0,1–0,2 г/л. (К 3.1.8).

Вихід: 203,5 л посівного матеріалу 3-ї генерації

Отримання культури 4-ї генерації

В фітобіореактор ГФ 7 насосом Н 6 подають живильне середовище зі стадії ДР 2 для досягнення цільового об'єму 3866,5 л. Додають насосом Н 4 культуру 3 генерації 203,5 л.

Інкубують при 28°C, аерації 1,0 vvm, освітленні 300–400 мкмоль/м²/с, протягом 72–96 годин (К 3.1.9).

Контроль якості:

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Чистота: відсутність контамінантів.

Життєздатність: OD680 2,0–4,0 ($\sim 10\text{--}20 \times 10^6$ клітин/мл).

Фізіологічний стан: Фотосинтетична активність ($F_v/F_m \geq 0,7$), відсутність агрегації клітин.

Фізико-хімічні параметри: рН 6,8–7,8, температура 26–30°C, CO₂ 0,1–0,2 г/л, нітрати 0,3–0,8 г/л, фосфати 0,03–0,08 г/л.

Тест на токсини: Відсутність ендотоксинів і мікотоксинів (К 3.1.10).

Вихід: 4070 л посівного матеріалу 4-ї генерації.

Посівний матеріал 4-ї генерації передають на стадію ТП 4 «Вирощування біомаси водорості» для основного культивування в промисловому фітобіореакторі.

Стадія ТП 4. Вирощування біомаси водорості.

Операція ТП 4.1 Вирощування та накопичення біомаси.

Культивування хлорели для отримання біомаси проводиться в промисловому фітобіореакторі ГФ 8 об'ємом 80000 л, плоско-панельному, з можливістю комбінованого освітлення, системою СІР-мийки, спеціально спроектованому для фотосинтетичних мікроорганізмів. Фітобіореактор не має «мертвих зон», оснащений асептичними пробовідбірниками для відбору проб, стерилізаційними фільтрами для газів (CO₂, повітря) і рідин, а також системами аерації, перемішування та освітлення. Реактор обладнано датчиками для моніторингу температури, рН, розчиненого CO₂, оптичної щільності (OD680), рівня піни, концентрації поживних речовин і фотосинтетичної активності. Система автоматично регулює подачу CO₂, поживних речовин і піногасника (за потреби).

Насосом Н 8.1 (у комплекті з ГФ 8) у фітобіореактор ГФ 8 завантажують 71930 л стерильного живильного середовища, підготовленого на стадії ДР 2. Температура середовища підтримується на рівні 26–30°C (К 4.1.1).

Середовище інокують 4070 л посівного матеріалу 4-ї генерації, отриманого на стадії ТП 3 в фітобіореакторі-інокуляторі ГФ 7 (К 4.1.2).

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Умови культивування: температура підтримується на рівні $28 \pm 1^\circ\text{C}$ за допомогою системи теплообмінників, освітлення $200\text{--}400 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}$ (PAR, фотосинтетично активна радіація, довжини хвиль $620\text{--}630 \text{ нм}$ і $450\text{--}460 \text{ нм}$), забезпечується LED-лампами та/або природним світлом. Світловий цикл: 16 год світла / 8 год темряви. Аерація: $0,5\text{--}1,0 \text{vvm}$ (об'єм повітря/ CO_2 на об'єм середовища за хвилину), регулюється для підтримання концентрації розчиненого CO_2 на рівні $0,1\text{--}0,2 \text{ г/л}$. Перемішування $50\text{--}100 \text{ об/хв}$. Після 48 годин культивування перемішування збільшують до $100\text{--}150 \text{ об/хв}$ для забезпечення гомогенності. pH підтримується на рівні $6,8\text{--}7,8$ шляхом автоматичного додавання 8M розчину NaOH або 6M розчину HCl (К 4.1.3).

Контроль поживних речовин: нітратів ($0,3\text{--}0,8 \text{ г/л}$) і фосфатів ($0,03\text{--}0,08 \text{ г/л}$) вимірюють кожні 24 години. При зниженні рівня нітратів додають розчин KNO_3 (100 г/л) для відновлення концентрації до $0,5\text{--}0,8 \text{ г/л}$.

Процес триває 96 ± 4 години. Завершення фіксується за досягненням оптичної щільності OD680 $2,0\text{--}4,0$ ($\sim 10\text{--}20 \times 10^6$ клітин/мл) та концентрації сухої біомаси 3 г/л (К 4.1.4).

Додатковий показник: фотосинтетична активність ($F_v/F_m \geq 0,7$), що свідчить про здоровий стан культури.

Показники контролю: чистота, життєздатність, концентрація клітин, фізіологічний стан (однорідні сферичні клітини, відсутність агрегації), pH, температура, розчинений CO_2 , нітрати, фосфати, токсини.

Отримують 76000 л культуральної рідини хлорели з концентрацією біомаси 3 г/л (сухої ваги), що відповідає 228 кг сухої біомаси за цикл.

Культуральну рідину з фітобіореактора Ф 8 передають насосом Н 8.1 на етап ТП 5 для подальшої переробки біомаси хлорели.

ТП 5. Виділення біомаси від середовища культивування.

Операція 5.1 Відділення біомаси

Відділення біомаси хлорели з культуральної рідини об'ємом 76000 л (76 м^3) здійснюється методом сепарування в промисловому сепараторі для отримання концентрованої біомаси з вологістю 85% . Процес проводиться в

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

асептичних умовах для запобігання контамінації. Сепаратор оснащений системами автоматичного контролю, стерилізаційними фільтрами для рідин і газів, а також датчиками тиску, температури та продуктивності.

Культуральну рідину (76000 л), отриману на стадії ТП 4 (основна ферментація), перекачують насосом Н 8.1 до сепаратора ГФ 9. Температура рідини підтримується на рівні 20–25°C для збереження цілісності клітин хлорели. Тиск: 0,1–0,2 МПа, швидкість обертання: 6000–8000 об/хв. (К 5.1.1).

Сепаратор відокремлює біомасу хлорели від надосадової рідини, яка направляється на утилізацію або повторне використання (К 5.1.2).

Отримана біомаса: пастоподібна маса з вологістю 85%, що відповідає 1520 кг вологої біомаси (228 кг сухої біомаси ÷ 0,15).

Контроль якості: Чистота біомаси: відсутність контамінації. Вологість: 85±2 %. Концентрація біомаси: 228 г/л. Фізико-хімічні параметри: рН надосадової рідини: 6,8–7,8. Відсутність ендотоксинів і мікотоксинів (К 5.1.3). Цілісність клітин: відсутність пошкоджених клітин.

Отриману вологу біомасу хлорели передають насосом Н 10 на операцію ТП 5.2 для подальшої обробки.

Операція 5.2 Руйнування клітинної стінки.

Руйнування клітинних стінок біомаси хлорели здійснюється за допомогою ультразвукової установки для вивільнення внутрішньоклітинних компонентів (ліпідів, білків, пігментів тощо). Процес проводиться в контрольованих умовах для забезпечення високої ефективності руйнування та збереження біоактивних речовин.

Вологу біомасу хлорели 1520 кг перекачують насосом Н 10 до резервуара підготовки З 11, де її розбавляють очищеною водою вдвічі (1520 × 2 = 3040 кг) для оптимальної роботи ультразвукової установки ГФ 12 (К 5.2.1).

Температура суспензії підтримується на рівні 20–25°C для запобігання деградації біоактивних компонентів.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Біомаса подається в проточну ультразвукову установку з продуктивністю 0,5–2 м³/год. Ультразвук (частота 20–40 кГц, інтенсивність 50–200 Вт/см²) руйнує клітинні стінки хлорели шляхом кавітації, створюючи мікропухирці, що лопаються та розривають клітинні мембрани (К 5.2.2).

Процес проводиться в безперервному режимі з контрольованим часом обробки (1–5 хвилин на партію) для досягнення $\geq 80\%$ руйнування клітин.

Система теплообмінників підтримує температуру суспензії в межах 20–30°C, щоб уникнути теплового пошкодження біоактивних речовин.

Контролюють: ефективність руйнування ($\geq 80\%$ клітин із порушеними стінками), збереження біоактивних речовин (вміст хлорофілу, ліпідів і білків), рН суспензії (6,5–7,5), температура (20–30°C), чистота (відсутність контамінантів), токсини (відсутність). (К 5.2.3).

Стадія ТП 6. Отримання екстракту водорості.

Операція 6.1 Отримання екстракту.

Екстракція біоактивних речовин (ліпідів, білків, пігментів) із зруйнованої біомаси може проводитися в тій самій ультразвуковій установці за умови адаптації параметрів (знижена інтенсивність ультразвуку). Ультразвук сприяє вивільненню внутрішньоклітинних компонентів у рідку фазу.

Суспензію зруйнованої біомаси направляють в окремий резервуар для екстракції 3 13, де проходить ще розбавлення для екстрагування вдвічі та потім назад у проточну ультразвукову установку ГФ 12.

Ультразвук із нижчою інтенсивністю (20–50 Вт/см², частота 20–40 кГц) застосовується для полегшення вивільнення біоактивних речовин (К 6.1.1).

Температура підтримується на рівні 20–25°C для збереження чутливих молекул (хлорофіл тощо).

Контролюють ефективність екстракції (вміст ліпідів 10–20% від сухої маси, білків 40–60%, хлорофілу 1–2%), чистота екстракту (відсутність домішок і контамінантів), рН 6,5–7,5, температура 20–25°C, токсини (відсутність ендотоксинів і мікотоксинів) (К 6.1.3).

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Вихід: 6080 кг екстракту із біоактивними речовинами (ліпіди, білки, пігменти), готовий до подальшої обробки.

Операція 6.2 Концентрування екстракту.

Концентрування екстракту хлорели, отриманого на операції 6.2, здійснюється методом ультрафільтрації для підвищення концентрації біоактивних речовин (білків, пігментів, полісахаридів) та видалення надлишкової рідини. Процес проводиться в асептичних умовах для збереження якості екстракту та запобігання контамінації. Об'єм вихідного екстракту становить приблизно 6,08 м³ (залежить від розведення біомаси на операції ТП 6.2), із концентрацією сухих речовин 10–50 г/л.

Екстракт хлорели перекачують насосом Н 14 до збірників З 15. Температура екстракту підтримується на рівні 15–25°C для збереження біоактивних компонентів, для запобігання денатурації білків або деградації пігментів (К 6.2.1).

Екстракт подається в систему ультрафільтрації Ф 16 з продуктивністю 1–5 м³/год. Мембрани з розміром пор 10–50 кДа утримують макромолекули (білки, полісахариди, пігменти), пропускаючи воду, дрібні молекули (солі, низькомолекулярні метаболіти) та розчинники у пермеат (К 6.2.2).

Процес триває до зменшення об'єму екстракту в 10 разів, досягаючи концентрації сухих речовин 500 г/л.

Тиск: 0,2–0.5 МПа, регульований для оптимального потоку.

Контролюють: концентрацію біоактивних речовин (вміст білків (40–60% від сухої маси), пігментів (хлорофіл: 1–2%) та полісахаридів (10–20 %), чистоту (відсутність контамінантів), рН концентрату (6,5–7,5), температура 15–25°C, в'язкість (≤ 100 мПа·с), токсини (відсутність ендотоксинів і мікотоксинів) (К 6.2.3).

Вихід: Концентрований екстракт 1216 л в збірниках З 17. Пермеат може бути утилізований або повторно використаний для розведення живильного середовища.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Концентрований екстракт перекачують насосом Н 14 на операцію ТП 6.3 для сушіння.

Операція 6.3 Сушка екстракту.

Сушка концентрованого екстракту хлорели, отриманого методом ультрафільтрації, здійснюється за допомогою розпилювальної сушильної установки ГФ 18 для отримання сухого порошку з вмістом води $\leq 5\%$. Вихідний концентрат має об'єм 1216 л із концентрацією сухих речовин 500 г/л, що відповідає 120 кг сухої маси. Процес проводиться в асептичних умовах для збереження біоактивних компонентів (білків, пігментів, полісахаридів) і запобігання контамінації.

За потреби концентрат гомогенізують для забезпечення однорідності та додають стабілізатори (наприклад, мальтодекстрин, 5–10% від сухої маси) для покращення текучості порошку.

Концентрат подається в розпилювальну сушильну установку ГФ 18 з продуктивністю 100–500 л/год (рідини). Екстракт розпилюється через форсунку (діаметр 0,5–2 мм) у гарячий повітряний потік, формуючи дрібні краплі, які миттєво висихають.

Умови сушки (К 6.3.1): Температура вхідного повітря: 160–180°C. Температура вихідного повітря: 70–90°C. Температура продукту: $\leq 50^\circ\text{C}$ (для збереження білків і пігментів). Тиск розпилення: 0,2–0,5 МПа. Потік повітря: 1000–5000 м³/год.

Сухий порошок збирається в циклонному сепараторі або рукавному фільтрі, а відпрацьоване повітря проходить через систему фільтрації для уловлювання дрібних частинок. Вивантажують порошок в збірник пересувний З 19.

Контролюють: вологість порошку $\leq 5\%$, вміст біоактивних речовин (білків (40–60%), пігментів (хлорофіл: 1–2%), полісахаридів (10–20%)), чистота (відсутність контамінантів), розмір частинок (10–100 мкм), сипучість (кут природного укосу $\leq 40^\circ$), відсутність ендотоксинів і мікотоксинів (К 6.3.2).

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Вихід: сухий екстракт хлорели: 102 кг із вологістю $\leq 5\%$. (К 6.3.2).

Сухий порошок екстракту хлорели передають на стадію ПМВ 7. для пакування.

Стадія ПМВ 7. Пакування, маркування та відвантаження готового продукту.

Операція 7.1 Фасування та пакування екстракту хлорели.

Сухий порошок екстракту хлорели зі збірника З 19 завантажують в бункер фасувально-пакувального автомату ГФ 20 на фасування у пластикові пляшки по 0,25 кг.

Автомат налаштовують на дозу 250 г. Кришки завантажують в бункер для укупорочних засобів. Майстер перевіряє відповідність етикетки на пляшці, правильність маркування (номертсерії та термін придатності). (К 7.1.1)

Бункер автомата для порошку снабжений шнековим перемішувачем. Порожня пляшка подається транспортером до вузла дозування, оператор вмикає наповнення тари, наповнена пляшка переміщується на вузол укупорки, де нагвинчується кришка, і пляшка відводиться на накопичувальний стіл. Оператор контролює якість упаковки під час процесу.

На дисплеї відображається вага наповнення, кількість пляшок та загальна вага. Масу наповнення пляшки періодично контролюють. (К 7.1.2)

Пляшки пакують у ящики на столі ГФ 21.

Продукцію поміщають на карантинний склад. Від кожної серії відбирають контрольні зразки та проводять повний аналіз за всіма показниками НТД. Перевірену продукцію з сертифікатом якості відвантажують на склад готової продукції. (К 7.1.3)

Продукт до відвантаження на реалізацію зберігають у сухому, прохолодному місці.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Схеми виробництва (зі специфікацією обладнання)

Технологічна схема виробництва продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках представлено на рис. 3.2

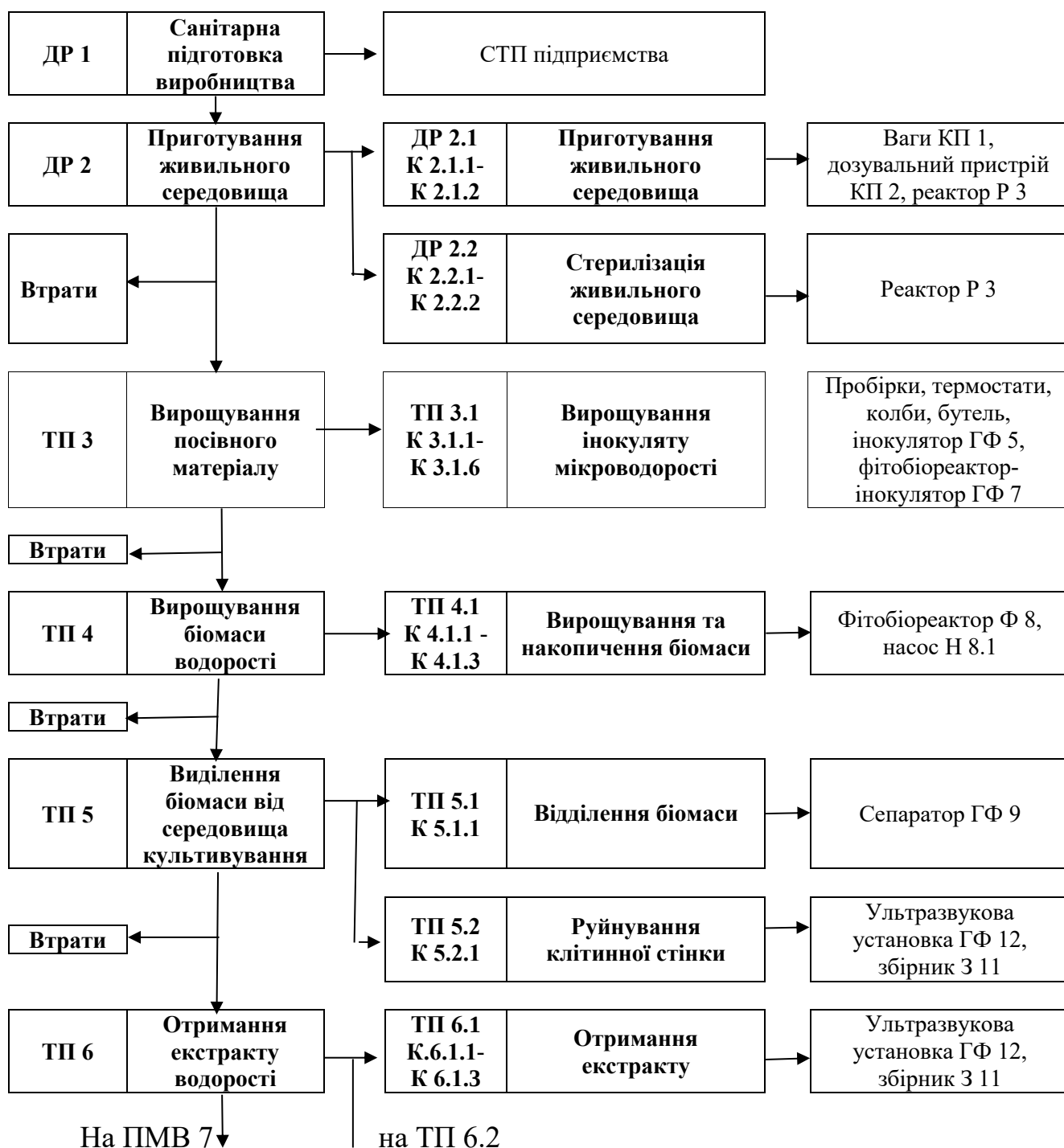
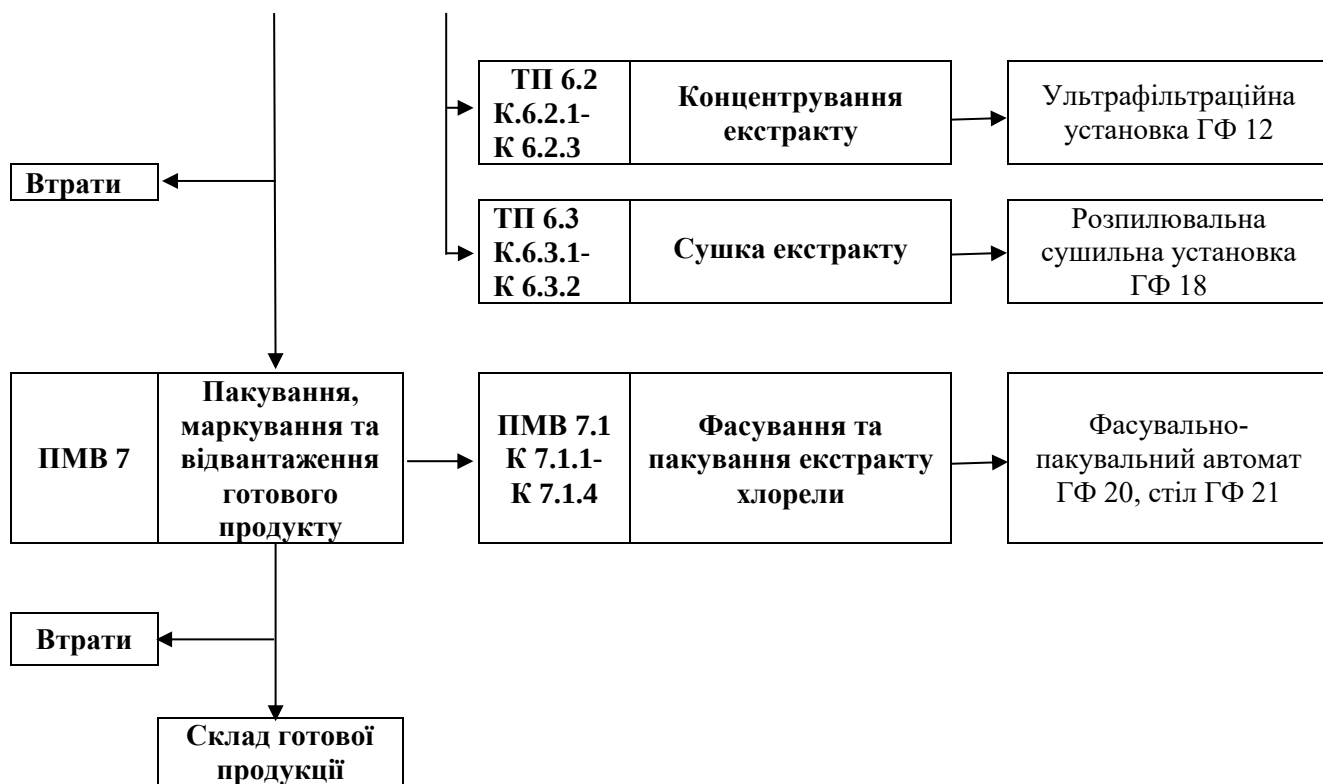


Рисунок 3.2 – Технологічна схема виробництва продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках.



Продовження рис. 3.2 – Технологічна схема виробництва продукту
«Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках.

Апаратурну схему виробництва продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках наведено на рис. 3.3.

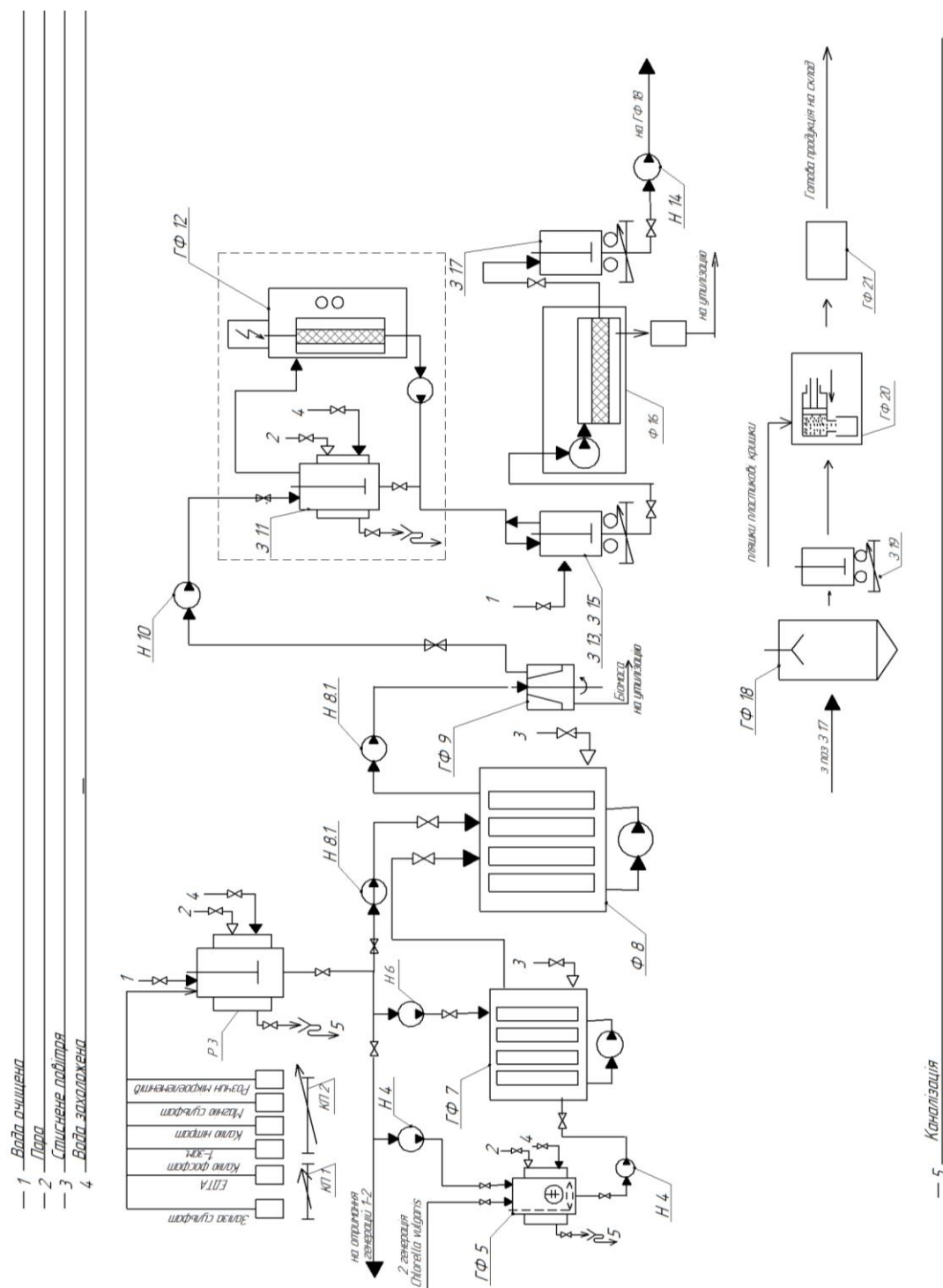


Рис. 3.3 – Апаратурна схема виробництва продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках.

Специфікацію обладнання виробничої дільниці отримання продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Специфікація обладнання дільниці з виробництва продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса, кг	Примітка (матеріал)
1	2	3	4	5	6
КП 1	марка EP 613	Ваги лабораторні. Конструкція вагової чаші: круга з вітрезахисною вітриною. Макс. розмір наважки: 610 г. Ціна поділки: 0,001 г. Клас точності: II. Виробник: «Ohaus», США.	1	0,3	н/сталь імп.316L, скло, пластик
КП 2		Дозувальний пристрій. PLC-контролер для точного дозування за рецептурою. Продуктивність: до 1000 кг/год або л/год. Дискретність 1 кг. Потужність 0,25 Вт. Габаритні розміри, мм: 560х670х250. Виробник: Китай.	1	3	Н/сталь AISI 304
Р 3		Реактор. Вертикальний циліндричний змішувальний реактор. Мішалка турбінна 50-150 об/хв. Потужність 7,5 кВт. Робочий об'єм, м ³ 50,0. Подвійна сорочка. Пластинчастий теплообмінник. Продуктивність 100–200 кВт. Діапазон температур: 15–40°C. Точність регулювання: ±0,5°C. Вбудована система стерилізації. Стерилізація 121 оС. Габаритні розміри, мм: діаметр 3500, висота 8000. Виробник: фірма «Henan Wanda Chemical Equipment», Китай	1	15 т	Сталь, емаль

1	2	3	4	5	6
Н 4, Н 6	ЦНСк 50-120	Насос відцентровий. Напір, м ³ /год: 50. Висота подачі, м: 120. Потужність двигуна, кВт: 7,5. Габаритні розміри, мм: 1010x250x290. Виробник: ООО «Гідравлік-М», Україна	1	64	Збірний
ГФ 5	РСІ-350	Інокулятор малий. Циліндричний, вертикальний. Робочий об'єм, л 350. З змішувиком, трирівневою мішалкою, аератором трубчастим, системою тензометрії, оглядовим люком та підсвіткою. Тиск у корпусі, МПа від – 1,0 до + 3,0. Т- ра, в корпусі, від 20 до 132°C. Габаритні розміри, мм: діаметр 800, висота 1560. Виробник: Промвіт, Україна	3	340	сталь AISI 316L
ГФ 7	ФБР-ПП 10000	Фітобіореактор-інокулятор. Плоский панельний. Загальний об'єм: 10 м ³ . LED-панелі з довжиною хвилі 620–630 нм і 450– 460 нм. Барботажна система з дифузорами, витрата CO ₂ ~0,1–0,2 г/л/доба. В комплекті з циркуляційними насосами продуктивністю 10–20 м ³ /год. Компресори для подачі повітря 0,1- 0,5 об./об./хв. Датчики рН, температури, оптичної щільності. Загальне енергоспоживання 12-25 кВт. Кількість панелей 100. Розміри панелі, м: 2x1x0,05. Габаритні розміри системи, мм: 14500x2750x2500.	1	1230	Панелі: прозорий полікарбо нат, Каркас: н/сталь. Трубопро води: ПВХ
ГФ 8	ФБР-ПП 80000	Промисловий фітобіореактор. Плоский панельний. Загальний об'єм: 80 м ³ . LED-панелі з довжиною хвилі 620–630 нм і 450– 460 нм. Барботажна система з дифузорами, витрата CO ₂ ~0,1–0,2 г/л/день. В комплекті з	1	1230	Панелі: прозорий полікарбо нат, Каркас: н/сталь.

Продовження табл. 3.5

1	2	3	4	5	6
		циркуляційними насосами продуктивністю 10–20 м³/год. Компресори для подачі повітря 0,1–0,5 об./об./хв. Датчики рН, температури, оптичної щільності. Загальне енергоспоживання 12–25 кВт. Кількість панелей 100. Розміри панелі, м: 2х1х0,05. Габаритні розміри системи, мм: 14500х2750х2500.			Трубопро- води: ПВХ
ГФ 9	Модель ОТС 30- 03-107	Сепаратор відцентровий. Дискосва центрифуга з безперервною вивізкою твердої фази. Продуктивність 5–10 м³/год. Швидкість обертання: 6000–8000 об/хв. Потужність двигуна: 15–30 кВт. Вбудована СІР-система для автоматичного очищення та стерилізації паром (121°C, 1,2 бар). PLC-контролер із сенсорною панеллю. Датчики тиску, температури, рівня рідини, витратоміри. Енергоспоживання: 20–40 кВт Габаритні розміри, мм: 2500х1500х2000. Виробник: GEA Westfalia Separator	3	2500	Н/сталь марки 316L (контакт із продукто м), 304L (не контактує із продукто м)
Н 10		Насос шнековий.			
3 11, 3 13, 3 15, 3 17	РУ2500 М	Збірник. Об'єм – 2500 л. Оснащений сорочкою, мішалкою, оглядовим люком, тензометричним пристроєм, пересувний. Габаритні розміри: 1830×2020 мм. Виробник: «Patent Ltd», Угорщина	10	350	сталь AISI 316L
ГФ 12	Hielsche г UIP4000 hdT	Ультразвукова установка. Проточна ультразвукова система з реакційною камерою. Продуктивність 0,5–2 м³/год. PLC-контролер із сенсорною панеллю. Датчики температури, тиску,	2	450	н/сталь SUS304L, SUS316L, Ti

1	2	3	4	5	6
		витратоміри для рідини. Робоча частота, кГц 20. Потужність, кВт 5-40. Габарити, мм: 1500x800x2100. Виробник: компанія «Hangzhou Precision Machinery Co., Ltd.», Китай.			
Н 14	T53	Насос. Пневматичний, з підпором. Продуктивність, л/хв. 60. Макс. напірний тиск, МПа 0,8. Габаритні розміри, мм: 150x159x190. Виробник: «Tapflo», Швеція	2	5,3	сталь AISI 316L
Ф 16	Модель: Pall Centramate 500 S	Система ультрафільтрації. Продуктивність: 1–5 м³/год. Тип мембран: Касетні мембрани Omega (поліетерсульфон, PES), розмір пор 10–50 кДа. Площа фільтрації: до 50 м² (модульна). Робочий тиск: 0,1–0,6 МПа. Температура: 5–50°C. Енергоспоживання 5-15 кВт. Розміри: 2000x1200x2000.	1	750	AISI 316L, поліпропілен
ГФ 18	Модель: GEA Niro Mobile Minor	Розпилювальна сушильна установка. З форсунковою системою розпилення. Продуктивність: 100–500 л/год рідини (10–100 кг/год сухого порошку). Вхідне повітря: 150–200°C (регульоване). Вихідне повітря: 60–100°C. Температура продукту: ≤50°C. Тип форсунки: відцентрова. Тиск: 0.2–0,5 МПа. Розмір крапель: 10–100 мкм. Потік повітря: 1000–5000 м³/год. Енергоспоживання 20-50 кВт. Габаритні розміри, мм: 3000x2000x4000.	1	1500	AISI 316L
З 19	ПВ-160А	Збірник пересувний. Ємність 160 л, оснащена відкидною кришкою, знімною мішалкою швидкістю 0-1000 об/хв, тензометричним ваговимірювальним електронним пристроєм (ТВЕП). Габаритні розміри, мм: 530x320x240. Виробник: «Промвіт», Україна	2	65	Н/сталь 12X18 Н10Т

1	2	3	4	5	6
ГФ 20	УФП-25 А	Фасувально-пакувальний автомат. Межі дозування, кг 0,2-1,0. Продуктивність, доз/хв. до 25. Точність дозування, % ± 1 . Потужність, кВт 0,8. Тиск у мережі, МПа 0,6. Об'єм бункера 60-80 л. Габаритні розміри, мм: 1600х600х1800. Виробник: «Завод Баленко», Україна.	1	180	н/сталь AISI- 306
ГФ 21		Стіл для упаковки. Габаритні розміри, мм: 2300х1000х800. Нестандартне обладнання.	2	15	збірний

3.5 Критичні параметри виробництва

Таблиця 3.6 – Контроль критичних стадій і проміжної продукції виробництва продукту «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках

Номер	Критичні точки (критичні стадії, операції)	Критичні параметри і критичні характеристики якості	Одиниця виміру	Критерій прийнятності
1	2	3	4	5
К 1.1- К 1.3	Стадія ДР 1. Санітарна підготовка виробництва	-мікробна контамінація повітря робочої зони приміщень класів С та D	КУО/м ³	C – ≤ 100 D – ≤ 200
	Те ж	- максимально-допустиме число часток в 1 м ³ повітря	шт.	[24, 25]
		- мікробіологічна контамінація поверхонь	КУО/м ³ / пластина	C – ≤ 25 D – ≤ 50
		- мікробіологічна контамінація технологічного одягу	КУО/ м ³ / пластина	C – ≤ 25 D – ≤ 50

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5
К 2.1.1	Стадія ДР 2. Приготування живильного середовища	Контроль маси сировини: - калію нітрату - калію фосфату 1-зам. - магнію сульфату - заліза сульфату - ЕДТА - розчину мікроелементів	кг	380,0 95,0 190,0 0,684 2,812 76,0
К 2.1.2	Те ж	рН		6,5-8,0
К 2.2.1	Те ж	Режим стерилізації: - температура - тиск - тривалість	оС МПа хв	121 0,1 30
К 2.2.2	Те ж	Стерильність		Стерильне
К 3.1.1 К 3.1.3	Стадія ТП 3. Підготовка посівного матеріалу	- рН середовища - Температура - Освітлення - Аерація (подача CO ₂)	°С Люкс, годин світла на добу %	7,0–7,5 24–28 3000–4000, 12–16 1–5
		Режим відновлення : - температура - швидкість перемішування - освітлення - тривалість	°С Об/хв мкмоль/м ² / с год	28 150 100-150 24
К 3.1.2 К 3.1.4		1 генерація: - чистота - життєздатність - фізіологічний стан - рН - температура - нітрати - фосфати - токсини - об'єм	оС г/л г/л мл	Відсутн. ОД6800,5- 1,5, ~1– 3×10 ⁶ Хлорофіл а/б 6,8-7,8 26-30 1-2 0,1-0,2 Відсутн. 31

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5
К 3.1.5	Те ж	2 генерація (режим): - температура - швидкість перемішування - освітлення - тривалість	°C Об/хв мкмоль/м²/ с год	28 150 150-200 24-36
К 3.1.6	Те ж	2 генерація (контроль): - чистота - життєздатність - фізіологічний стан - рН - температура - нітрати - фосфати - токсини - об'єм	 °C г/л г/л мл	Відсутн. ОД680 1,5- 3,0, ~5- 10×10⁶ F _v /F _m ≥ 0,65 6,8-7,8 26-30 0,5-1 0,05-0,1 Відсутн. 11,2
К 3.1.7 К 3.1.8	Те ж	3 генерація (режим): - температура - швидкість перемішування - освітлення - тривалість - аерація - розчинений CO ₂	°C Об/хв мкмоль/м²/ с год vvm г/л	28 100-150 200-300 48-72 0,5-1,0 0,1-0,2
К 3.1.9	Те ж	4 генерація (режим): - температура - освітлення - тривалість - аерація	°C мкмоль/м²/ с год vvm	28 300-400 72-96 1,0
К 4.1.1	Стадія ТП 4. Вирощування біомаси водорості	Кількість середовища Температура	л °C	71930 26-30
К 4.1.2	Те ж	Кількість інокуляту	л	4070
К 4.1.3	Те ж	Режим культивування: - температура - швидкість перемішування - освітлення	°C Об/хв мкмоль/м²/	28 100-150 200-300

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5
		- тривалість - аерація - розчинений CO ₂	с год vvm г/л	48-72 0,5–1,0 0,1–0,2
К 4.1.4	Те ж	Завершення процесу: - OD680 - концентрація сухої біомаси	г/л	2,0–4,0 3
К 5.1.1	ТП 5. Виділення біомаси від середовища культивуванн я	Режим сепарації: - температура рідини - тиск - швидкість обертання:	°C МПа об/хв	20–25 0,1–0,2 6000–8000
К 5.1.2		Проміжний продукт: - зовнішній вигляд - вологість - вага	% кг	пастоподібна 85 1520
К 7.1.1.	ПМВ 5 Пакування, маркування та відвантаження готового продукту	Якість етикетування: - відповідність етикетки вимогам НТД - правильність номера серії та терміну придатності, - якість наклеювання етикетки		Відповідає Відповідає Відсутні дефекти
К 7.1.2	Те ж	Маса наповнення	г	Не менше 250
К 7.1.3	Те ж	Контроль готової продукції: «Екстракт хлорели для косметичного застосування» по 0,25 кг у пляшках		Відповідність всіх показників вимогам НТД

3.6 Екологічні аспекти виробництва

Виробництво екстракту хлорели (*Chlorella vulgaris*) для косметологічного застосування має значний потенціал для створення екологічно стійких технологій, що відповідають сучасним вимогам зеленої економіки. Хлорела, як фотосинтетичний мікроорганізм, пропонує численні екологічні переваги, але також потребує врахування певних особливостей для мінімізації впливу на довкілля. Цей процес охоплює культивування

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

біомаси, руйнування клітин, екстракцію, концентрування та сушку, кожен з яких має свої екологічні аспекти. [17, 23]

Однією з ключових екологічних переваг виробництва хлорели є її здатність поглинати вуглекислий газ (CO_2) під час фотосинтезу. Хлорела може фіксувати до 1,8 кг CO_2 на 1 кг сухої біомаси, що сприяє зниженню викидів парникових газів. Використання промислових викидів CO_2 (наприклад, від теплоелектростанцій) як джерела вуглецю для фітобіореакторів дозволяє інтегрувати виробництво хлорели в системи уловлювання вуглецю, зменшуючи вуглецевий слід. Крім того, хлорела не утворює токсичних метаболітів, що робить її безпечною для довкілля та виключає ризик забруднення ґрунтів чи водойм. [3, 17]

Енергоефективність є важливим аспектом. Культивування хлорели у фітобіореакторах (наприклад, трубчастих або плоско-панельних) вимагає штучного освітлення ($200\text{--}400 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) та аерації ($0,5\text{--}1,0 \text{vvm}$), що може споживати значну кількість електроенергії ($10\text{--}50 \text{кВт на м}^3$). Для зниження енергоспоживання рекомендується використовувати природне сонячне світло або енергію з відновлювальних джерел (сонячні панелі, вітрові турбіни). Надосадова рідина після сепарування біомаси ($70\text{--}73 \text{ м}^3$ з 76 м^3 вихідної культуральної рідини) може бути повторно використана для приготування поживного середовища, що зменшує витрати води та мінімізує стічні води.

Руйнування клітинних стінок хлорели ультразвуком (наприклад, Hielscher UIP4000hdT) є енергоємним, але щадним методом, який не потребує токсичних хімікатів, на відміну від хімічної екстракції. Це знижує ризик хімічного забруднення. Ультрафільтрація (Pall Centramate 500 S) для концентрування екстракту та розпилювальна сушка (GEA Niro Mobile Minor) також є екологічно чистими, оскільки не генерують шкідливих відходів. Пермеат після ультрафільтрації може бути очищений і повернутий у цикл виробництва, що сприяє економії ресурсів. [10,12, 17]

Виробництво хлорели не конкурує з сільським господарством за земельні ресурси, оскільки фітобіореактори компактні (наприклад, $80\text{--}110 \text{ м}^2$

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

для 10 м³). Використання стерильних умов і закритих систем запобігає контамінації докільля сторонніми мікроорганізмами. Крім того, побічні продукти, такі як залишкова біомаса, можуть бути використані як біодобрива або кормові добавки, сприяючи економії замкненого циклу. [23]

Водночас, викликом є утилізація відходів (залишки мембран, фільтрів) і високі енергетичні витрати на сушку (20–50 кВт). Оптимізація процесів, наприклад, використання низькотемпературної сушки або відновлювальної енергії, може зменшити екологічний вплив. Таким чином, виробництво екстракту хлорели є екологічно стійким, сприяючи зниженню викидів CO₂, економії ресурсів і створенню безвідходних технологій, що робить його перспективним для біотехнологічної та косметологічної галузей.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз джерел літератури виявив високу актуальність використання *Chlorella vulgaris* як джерела біологічно активних речовин для косметологічної промисловості. Унікальний склад біомаси забезпечує її потенціал для створення інноваційних косметичних продуктів із зволожувальними, антиоксидантними та регенеруючими властивостями.
2. На основі дослідження особливостей технологічного процесу вирощування біомаси хлорели та способів отримання екстракту з неї запропоновано технологію виробництва сухого екстракту хлорели, що включає етапи культивування в фітобіореакторах, ультразвукове руйнування клітин, водну екстракцію, ультрафільтрацію та розпилювальну сушку. Складено технологічну та біологічну схеми виробництва.
3. Запропоноване ультразвукове руйнування клітинних стінок (Hielscher UIP4000hdT, інтенсивність 100–200 Вт/см²), яке за даними літератури забезпечує $\geq 80\%$ зруйнованих клітин без використання токсичних хімікатів, що підвищує екологічність і знижує деградацію БАР.
4. Запропоновано ультрафільтрацію (Pall Centramate 500 S, мембрани 10–50

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

кДа) для концентрування екстракту, що дозволить зберегти $\geq 90\%$ білків, пігментів і полісахаридів, а також для висушування концентрату - розпилювальна сушка (GEA Niro Mobile Minor), яка забезпечує швидке отримання порошку із вологістю $\leq 5\%$.

5. Використання вітчизняних виробничих потужностей для отримання екстракту знижує залежність від імпорту, а висока продуктивність і автоматизація процесів (PLC-контролери, SCADA) підвищують прибутковість виробництва.
6. Технологічні розрахунки обладнання підтвердили їх адаптованість до промислових масштабів, забезпечуючи ефективність на всіх етапах.
7. Результати роботи створюють основу для масштабування виробництва, інтеграції відновлювальних джерел енергії та розробки нових косметичних формул, що підвищує конкурентоспроможність біотехнологічного сектору України.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Agustina S., Aidha N., Oktarina E. The extraction of antioxidants from *Chlorella vulgaris* for cosmetics. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. Tangerang, 2021. P. 1–9. DOI: 10.1088/1757-899X/1011/1/012057.
2. Cosmetic attributes of algae - A review / M. B. Ariede et al. *Algal Research*. 2017. Vol. 25. P. 483–487. DOI: 10.1016/j.algal.2017.05.019.
3. Cultivation of *Chlorella vulgaris* using nutrients source from domestic wastewater for biodiesel production: Growth condition and kinetic studies / M. K. Lam et al. *Renewable Energy*. 2017. Vol. 103. P. 197–207. DOI: 10.1016/j.renene.2016.11.032.
4. Determination of Algal Cell Lipids Using Nile Red to Monitor Neutral Lipids in *Chlorella Vulgaris*. *SelectScience*. 12 Oct 2014. URL: <https://www.selectscience.net/resource/determination-of-algal-cell-lipids-using-nile-red-to-monitor-neutral-lipids-in-less-than-i-greater-than-chlorella-vulgaris-less-than-i-greater-than> (Date of access: 15.04.2025).
5. Evaluating microalgal cell disruption upon ultra high pressure homogenization / T. M. M. Bernaerts et al. *Algal Research*. 2019. Vol. 42. P. 101616. DOI: 10.1016/j.algal.2019.101616.
6. Evaluation of the anti-bacterial activity of methanolic extract of *Chlorella vulgaris* Beyerinck [Beijerinck] with special reference to antioxidant modulation / B. Pradhan et al. *Futur. J. Pharm. Sci*. 2021. Vol. 7. P. 17. DOI: 10.1186/s43094-020-00172-5.
7. Experimental Design and Optimization of Recovering Bioactive Compounds from *Chlorella vulgaris* through Conventional Extraction / I. Georgiopoulou et al. *Molecules*. 2022. Vol. 27(1). P. 29. DOI: 10.3390/molecules27010029.
8. Extraction of Bioactive Compounds from *C. vulgaris* Biomass Using Deep Eutectic Solvents / M. M. Dardavila et al. *Molecules*. 2023. Vol. 28(1). P. 415. DOI: 10.3390/molecules28010415.

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

9. Microalgae Biomolecules: Extraction, Separation and Purification Methods / P. S. Corrêa et al. *Processes*. 2021. Vol. 9(1). P. 10. DOI: 10.3390/pr9010010.
10. Microalgae for biotechnological applications: Cultivation, harvesting and biomass processing / G. M. Wilson et al. *Journal of Aquaculture*. 2020. Vol. 528. P. 735562. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735562.
11. Microwave-assisted lipid extraction from *Chlorella vulgaris* in water with 0.5%–2.5% of imidazolium based ionic liquid as additive / K. Sooridarsan et al. *Renewable Energy*. 2020. Vol. 149. P. 244–252. DOI: 10.1016/j.renene.2019.12.063.
12. Optimization of extraction of liquid extract from microalgae *Chlorella vulgaris* via cavitation-based techniques / F. Jamshidikia et al. *Journal of Food Process Engineering*. 2024. Vol. 47(8). DOI: 10.1111/jfpe.14665.
13. Research status and prospects for bioactive compounds of *Chlorella* species: Composition, extraction, production, and biosynthesis pathways / Y. Fang et al. *Process Safety and Environmental Protection*. 2024. Vol. 191(P. A). P. 345–359. DOI: 10.1016/j.psep.2024.08.114.
14. Sayali K., Zivko N., Process for selective extraction of pigments and functional proteins from *Chlorella vulgaris*. *Algal Research*. 2018. Vol. 35. P. 185–193. DOI: 10.1016/j.algal.2018.08.024.
15. Subcritical Water Technology for Extraction of Phenolic Compounds from *Chlorella* sp. Microalgae and Assessment on Its Antioxidant Activity / S. M. Zakaria et al. *Molecules*. 2017. Vol. 22(7). P. 1105. DOI: 10.3390/molecules22071105.
16. Weiyang T., Kyung H. R. Evaluation of CO₂-induced azole-based switchable ionic liquid with hydrophobic/hydrophilic reversible transition as single solvent system for coupling lipid extraction and separation from wet microalgae. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 296. P. 122309. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122309.
17. Біологічні особливості, біотехнологія культивування та сфери застосування мікроскопічних одноклітинних водоростей роду *Chlorella*:

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

(огляд літератури) / В. А. Гришко та ін. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія : Сільськогосподарські науки*. 2024. Т. 26, № 101. С. 329–340. DOI: 10.32718/nvlvet-a10150.

18. Біологія продуцентів біологічно активних речовин. Ч. 1. Загальна характеристика водоростей : навч. посіб. для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спец. «Біотехнології та біоінженерія» та інших споріднених спеціальностей / О. В. Шаповалова та ін. Харків : НФаУ, 2024. 130 с.
19. Бончук Д. А., Двінських Н. В. Аналіз способів руйнування клітинної стінки хлорели. *Актуальні питання створення нових лікарських засобів : матеріали XXXI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів*, м. Харків, 23-25 квіт. 2025 р. Харків : НФаУ, 2025. С. 171–172.
20. Державна Фармакопея України. Доповнення 2 / ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-ге вид. Харків : ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2018. 336 с.
21. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи керування безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій в харчовому ланцюзі (ISO 22000: 2018, IDT). На заміну ДСТУ ISO 22000:2007 ; чинний від 2019-10-31. Київ : УкрНДНЦ, 2019. 39 с. URL: https://sfero.org.ua/wp-content/uploads/2020/04/ISO-22000-2018-2_sfero.pdf (дата звернення: 15.04.2025).
22. ДСТУ ГОСТ 2.612:2014. Єдина система конструкторської документації. Електронний формуляр. Загальні вимоги. (ГОСТ 2.612-2011, IDT). Офіц. вид. Вперше ; чинний від 2014-11-01. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 47 с.
23. Кірсанова В. В. Доцільність обробітку та використання мікрowodоростей (Chlorella) як органічних добрив. *Екологічні науки*. 2020. № 1(28). С. 324–327. DOI: 10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.52.
24. Лікарські засоби. Належна виробнича практика : Настанова СТ–Н МОЗУ

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

42-4.0:2020 / розроб.: ДНУ «НТК «Інститут монокристалів» НАН України». Вид. офіц. Київ : МОЗ України, 2020. 356 с.

25. Лікарські засоби. Належна виробнича практика. Дод. 1. Виробництво стерильних лікарських засобів : Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.0/1:2023 / розроб.: ДНУ «НТК «Інститут монокристалів» НАН України». Вид. офіц. Київ : МОЗ України, 2023. 89 с. URL: <http://surl.li/ylddwp> (дата звернення: 15.04.2025).
26. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» ОП «Біотехнологія» / О. С. Калюжная та ін. Харків : НФаУ, 2024. 128 с.
27. Петровська Л. С. Перспективи використання зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris* в косметичних препаратах. *Теоретичні та практичні аспекти дослідження лікарських рослин* : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. internet-конф., м. Харків, 26-27 листоп. 2020 р. Харків : НФаУ, 2020. С. 192–193.
28. Сидоров І. Ю., Влязло Р. І., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічних виробництв : підручник. Харків : ХНФаМ, 2020. 256 с.
29. Степанов С. С., Мокросноп В. М. Метаболічні процеси та цінні речовини водоростей. Київ : Наукова думка, 2021. 245 с. URL: https://botany.kiev.ua/doc/stepanov_2021.pdf (дата звернення: 15.04.2025).
30. Стрикаль М. Водорості в косметичці: навіщо потрібні + добірка класних засобів. 29 лип. 2024. *EVA.BLOG*. URL: <https://blog.eva.ua/vodorosti-v-kosmetitsi-navishho-potribni-dobirka-klasnih-zasobiv/> (дата звернення: 15.04.2025).
31. Хлорела: користь від водорості, застосування. 11 верес. 2020. *DOBAVKI.UA*. URL: https://dobavki.ua/ua/khlorella-polza-ot-vodorosli-primenenie/?srsltid=AfmBOorjxHagAViJBV4NPXvxHQzxUHkufzd0B0_UJNRFoJe4uNTGrq0Q (дата звернення: 15.04.2025).

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

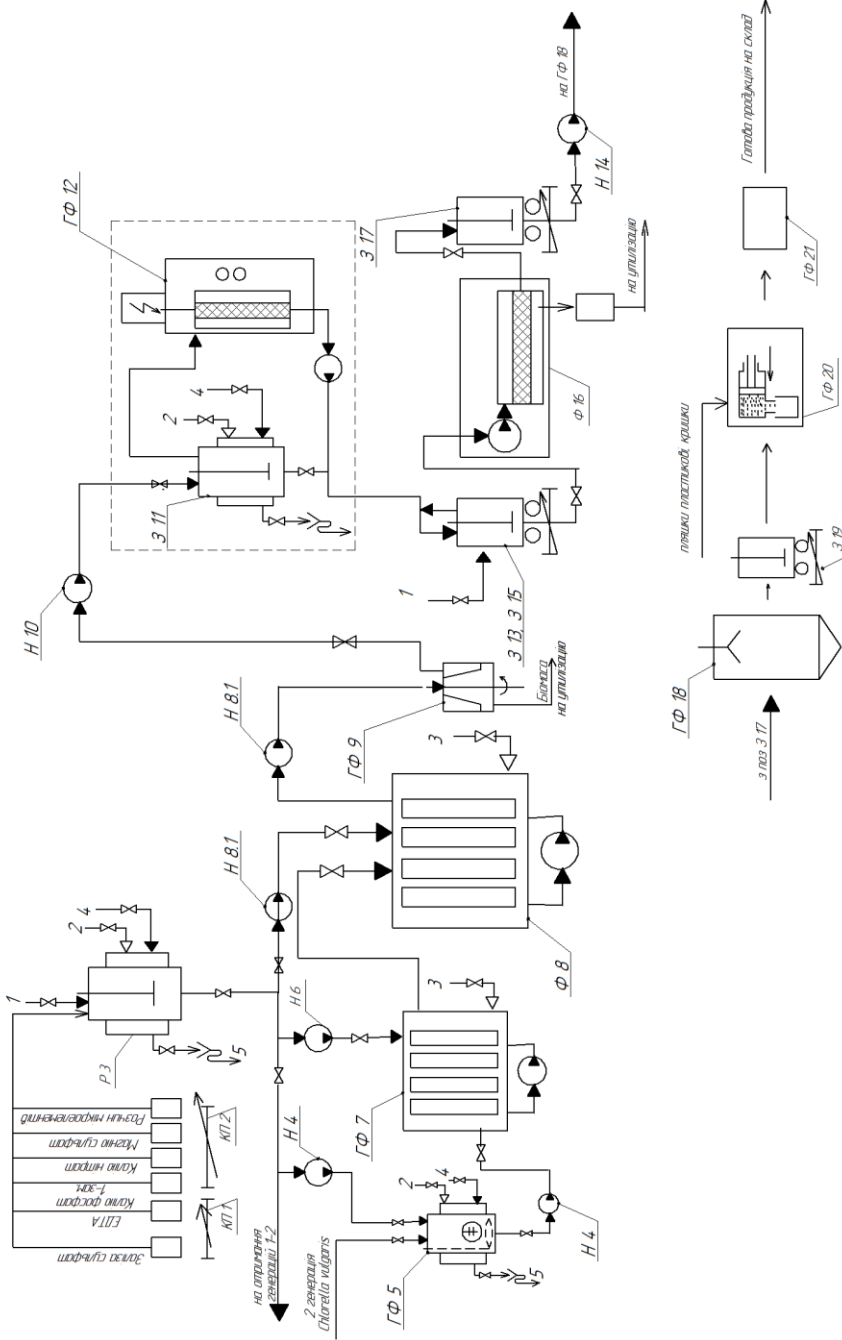
32.Хлорелла: у чому користь та як її приймати? 08.07.2023. URL:
https://bcaa.ua/podderzhka/hlorella_v_chem_polza_i_kak_ee_prinimat (дата
звернення: 15.04.2025).

					162.01.03.00 000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

16.2.0103.00 000 АСА

- 1 — Вода очищена
- 2 — Гріє
- 3 — Стиснене повітря
- 4 — Вода заохоложена



— 5 — Каналізація

Таблиця умовних обозначений	
Умовні позначення	Найменування середовища
Пітерне	Грунне
01	Вода очищена
02	Гріє
03	Стиснене повітря
04	Вода заохоложена
05	Каналізація
×	Вентиль, зупинки

Технічна характеристика

Форма випуску – "Екстракт хлорелі для касетичного застосування у пластиковах пляшках по 0,25 кг

Розмір серії 100 кг

Перелік елементів схеми

Код	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
	КП 1	Автомат	Автомат	2	
	КП 2	Дозувальний пристрій	Дозувальний пристрій	1	
	Р 3	Резервуар	Резервуар	1	
	Н 4, Н 6	Насос	Насос	2	
	Ф 5	Накопичувальний бак	Накопичувальний бак	3	
	Ф 7	Фільтр-накопичувальний	Фільтр-накопичувальний	1	
	Ф 8	Помилковий фільтр-накопичувальний	Помилковий фільтр-накопичувальний	1	
	Ф 9	Сепаратор	Сепаратор	1	
	Н 8	Насос	Насос	1	
	3 11, 3 13, 3 15, 3 17	З'єднання	З'єднання	10	
	Ф 12	Чисельний пристрій	Чисельний пристрій	2	
	Н 14	Насос	Насос	2	
	Ф 15	Система уловлювання	Система уловлювання	1	
	Ф 16	Резервуар-накопичувальний	Резервуар-накопичувальний	1	
	3 19	З'єднання	З'єднання	2	
	Ф 20	Фільтр-накопичувальний	Фільтр-накопичувальний	2	
	Ф 21	Система уловлювання	Система уловлювання	3	

16.2.0103.00 000 АСА	
Випадки експлуатації	
Аварійний стан	
Код	Назва
1	Аварія
2	Аварія
3	Аварія
4	Аварія
5	Аварія
6	Аварія
7	Аварія
8	Аварія
9	Аварія
10	Аварія
11	Аварія
12	Аварія
13	Аварія
14	Аварія
15	Аварія
16	Аварія
17	Аварія
18	Аварія
19	Аварія
20	Аварія
21	Аварія
22	Аварія
23	Аварія
24	Аварія
25	Аварія
26	Аварія
27	Аварія
28	Аварія
29	Аварія
30	Аварія
31	Аварія
32	Аварія
33	Аварія
34	Аварія
35	Аварія
36	Аварія
37	Аварія
38	Аварія
39	Аварія
40	Аварія
41	Аварія
42	Аварія
43	Аварія
44	Аварія
45	Аварія
46	Аварія
47	Аварія
48	Аварія
49	Аварія
50	Аварія
51	Аварія
52	Аварія
53	Аварія
54	Аварія
55	Аварія
56	Аварія
57	Аварія
58	Аварія
59	Аварія
60	Аварія
61	Аварія
62	Аварія
63	Аварія
64	Аварія
65	Аварія
66	Аварія
67	Аварія
68	Аварія
69	Аварія
70	Аварія
71	Аварія
72	Аварія
73	Аварія
74	Аварія
75	Аварія
76	Аварія
77	Аварія
78	Аварія
79	Аварія
80	Аварія
81	Аварія
82	Аварія
83	Аварія
84	Аварія
85	Аварія
86	Аварія
87	Аварія
88	Аварія
89	Аварія
90	Аварія
91	Аварія
92	Аварія
93	Аварія
94	Аварія
95	Аварія
96	Аварія
97	Аварія
98	Аварія
99	Аварія
100	Аварія

[illegible]

Характеристика приладу

[illegible]

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ
НОВИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ**

МАТЕРІАЛИ
XXXI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ

23–25 квітня 2025 року
м. Харків

Харків
НФаУ
2025

АНАЛІЗ СПОСОБІВ РУЙНУВАННЯ КЛІТИННОЇ СТІНКИ ХЛОРЕЛИ

Бончук Д.А.

Науковий керівник: Двінських Н.В.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна

begunova1203@gmail.com

Вступ. В останні роки інтерес до мікродорості *Chlorella vulgaris* був пов'язаний, в основному, з її використанням у виробництві біодизельного палива, а також кормів для тварин. Біомаса цієї природної сировини є цінним джерелом білків, вуглеводів, вітамінів, поліненасичених жирних кислот, мінеральних речовин, пігментів. Вміст білків у хлорелі може досягати 60% від вмісту сухих речовин. У білках представлені всі незамінні амінокислоти. Є також ліпіди, вітаміни групи В, вітамін С, β-каротин, хлорофіл, флавоноїди, різноманітні мікроелементи – кобальт, нікель, марганець, цинк, залізо, йод та ін. При цьому хлорела не утворює токсичних метаболітів чи продуктів розпаду. Унікальне поєднання біологічно активних речовин мікродорості обумовлює перспективність для застосування у косметичній продукції. Але утруднюючим фактором при розробці технологій отримання екстрактів хлорели стала складність руйнування клітинної стінки водорості.

Мета дослідження. Аналіз способів руйнування клітинної стінки хлорели для удосконалення технологічного процесу отримання екстракту водорості для використання в косметичних продуктах.

Матеріали та методи. У дослідженні використано аналітичні методи: проведено систематизацію та класифікацію даних наукової літератури з питань руйнування клітинної стінки хлорели, застосовано абстрактно-логічний метод для узагальнення отриманих даних і формулювання висновків.

Результати дослідження. *Chlorella vulgaris* являє собою одноклітинну прісноводну мікродорість кулястої форми з розміром від 2 до 10 мкм. Клітинна стінка водорості складається з целюлозоподібних вуглеводів, білків і незначної кількості пігментів-каротиноїдів. Стійка до хімічного впливу клітинна стінка захищає концентровані в хлорелі цінні біологічно активні речовини (БАР), перешкоджаючи їх вилучення для використання.

Для переробки водорості роду *Chlorella* з метою руйнування клітин використовують зазвичай комплексні методи, що включають термічні способи, такі як кип'ятіння та/або заморожування біомаси, механічні та фізичні, такі як, обробка у механічних активаторах планетарного, вібраційного або вібровідцентрового типу, обробку в апараті, що створює вихрове електромагнітне поле з хаотично рухомими феромагнітними частинками, обробку органічними розчинниками, такими як етанол та бензин, ультразвукове опромінення. Вказані методи, як правило комбінують з біохімічним типом впливу, тобто з ферментативним гідролізом компонентів біомаси, що дозволяє перевести БАР у водорозчинний стан. Дослідники застосовують переважно препарати целюлолітичних і протеолітичних ферментів.

Попередньо здійснюють потужний механічний вплив на клітину, а в завершенні ферментативних реакцій – тепловий вплив, який також призводить до інактивації ферментів. Така комбінація забезпечує збільшення виходу екстрактивних речовин, але не гарантує збереження активності виділених хімічних сполук, що особливо важливо для косметичної продукції.

З аналізу даних наукової літератури, можна зробити висновок про те, що найбільш перспективним для виділення БАР з хлорели є комбінування механічного та ферментативного способів руйнування її клітинної структури.

При механічній активації біомаси водорості відбувається механічне руйнування клітин, розупорядкування надмолекулярної структури клітинних стінок, підвищення їх проникності по відношенню до ферментів та підвищення їхньої реакційної здатності при подальшому ферментативному гідролізі.

Механічний спосіб отримання активованих клітинних стінок ефективніший, ніж розварювання в рідкій фазі при високій температурі, оскільки не вимагає великих кількостей води та підтримки підвищеної температури. Біомаса, активована механічно, являє собою зруйновані клітини і має більшу реакційну здатність, ніж розварена при нагріванні без руйнування клітин.

Висновки. Аналіз способів руйнування клітинної стінки хлорели показав, що найбільш перспективним для виділення біологічно активних речовин є комбінований підхід, що поєднує механічний та ферментативний методи. Механічна активація біомаси водорості забезпечує ефективне руйнування клітин, підвищення проникності клітинних стінок та їх реакційної здатності до подальшого ферментативного гідролізу. Такий комбінований метод є більш енергоефективним порівняно з високотемпературною обробкою, оскільки не потребує великих об'ємів води та підтримання високої температури. Застосування даного підходу дозволить удосконалити технологічний процес отримання екстракту водорості *Chlorella vulgaris* з максимальним вилученням цінних біологічно активних речовин при збереженні їх активності, що є особливо важливим для розробки косметичних продуктів.

ВІД ДНК ДО ОРГАНІЗМУ: БІОХІМІЧНІ ПІДХОДИ ДО ВІДРОДЖЕННЯ ВИМЕРЛИХ ТВАРИН

Горюнова І.О.

Науковий керівник: Сенюк І.В.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна

lgx135irka@gmail.com

Вступ. У сучасному світі межа між науковою фантастикою та реальністю стрімко розмивається, зокрема завдяки розвитку біотехнологій. Одним із найамбітніших напрямів є де-екстинкція – процес відновлення вимерлих видів. Завдяки прогресу в біохімії, молекулярній біології, генній інженерії та синтетичній біології цей концепт стає дедалі більш реалістичним. Процес де-екстинкції є складним і багатоступеневим, інтегруючи передові методи молекулярної біології, генетики та біотехнологій. Він починається з пошуку біологічного матеріалу вимерлого виду, такого як кістки, зуби, волосся або залишки екскрементів. Найкраще збережені зразки зазвичай виявляють у середовищах із низькими температурами, наприклад, у вічній мерзлоті, де рештки мамонтів чи інших плейстоценових видів можуть залишатися відносно неушкодженими.

Мета дослідження. Проаналізувати сучасні біохімічні методи, які дозволяють відроджувати вимерлі види тварин та оцінити їх ефективність.

Матеріали та методи. Наукові публікації, відкриті джерела та дані біотехнологічних компаній, зокрема Colossal Biosciences.

Результати дослідження. У лабораторних умовах із біологічного матеріалу екстрагують ДНК. Основна проблема полягає в тому, що стародавня ДНК зазвичай сильно фрагментована та деградована внаслідок тривалого впливу зовнішнього середовища. Для її