

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Біотехнології та екологічного контролю

Кафедра біотехнології і мікробіології

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Біотехнології: фармацевтична, промислова, харчова, природоохоронна»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри біотехнології і мікробіології

Віктор СТАБНІКОВ

“ 01 ” березня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Заярнюк Зої Віталіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Одержання біомаси *Spirulina platensis* для виробництва біологічно активної добавки»

керівник роботи Резніченко Юрій Миколайович, доц., канд. тех. наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 29 березня 2024 року № 238-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 28 травня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи біологічний агент: *Spirulina platensis*; цільовий продукт: біомаса; геометричний об'єм ферментера: 10 м³; коефіцієнт заповнення: 0,9

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика цільового продукту; обґрунтування вибору та характеристика біологічного агента; техніко-економічне обґрунтування; біосинтез цільового продукту; обґрунтування вибору технологічної схеми; специфікація обладнання; опис технологічної схеми; контроль виробництва; охорона довкілля.

5. Перелік графічного матеріалу

Технологічна схема біосинтезу *Spirulina platensis* - 1 аркуш формату А1

Апаратурна схема біосинтезу *Spirulina platensis* - 1 аркуш формату А1

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 01.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Характеристика цільового продукту</i>	01.03.24 – 17.03.24	Виконано
2.	<i>Обґрунтування вибору та характеристика біологічного агента</i>	18.03.24- 31.03.24	Виконано
3.	<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	1.04.24- 14.04.24	Виконано
4.	<i>Біосинтез цільового продукту</i>	15.04.24- 21.04.24	Виконано
5.	<i>Обґрунтування вибору технологічної схеми</i>	22.04.24- 28.04.24	Виконано
6.	<i>Специфікація обладнання</i>	29.04.24- 5.05.24	Виконано
7.	<i>Опис технологічної схеми</i>	6.05.24- 12.05.24	Виконано
8.	<i>Контроль виробництва</i>	13.05.24- 15.05.24	Виконано
9.	<i>Охорона довкілля</i>	15.05.24- 19.05.24	Виконано
10.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	19.05.24- 23.05.24	Виконано
11.	<i>Виконання графічної частини</i>	23.05.24- 28.05.24	Виконано

Здобувач

_____ (підпис)

Зоя ЗАЯРНЮК

_____ (ім'я та прізвище)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юрій РЕЗНІЧЕНКО

_____ (ім'я та прізвище)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦІЛЬОВОГО ПРОДУКТУ	11
1.1. Поживна цінність препарату на основі <i>Spirulina platensis</i>	11
1.2. Основні властивості біологічно-активної добавки	13
1.3. Галузі застосування <i>Spirulina platensis</i>	15
1.4.Форми випуску біологічно активної добавки	17
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА.....	19
2.1 Обґрунтування вибору біологічного агента та поживного середовища для його культивування	19
2.2. Морфолого-культуральні та фізіолого-біохімічні ознаки біологічного агента	28
2.3. Таксономічний статус біологічного агента	30
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	31
3.1. Потреби населення України у Спіруліні	31
3.2. Розрахунок потужності виробництва.....	33
3.3. Розрахунок кількості виробничих циклів для отримання річної потреби в цільовому продукті та геометричний об'єм фотобіореактора	36
3.4. Розрахунок кількості стадій підготовки посівного матеріалу	37
РОЗДІЛ 4. БІОСИНТЕЗ ЦІЛЬОВОГО ПРОДУКТУ	42
4.1.Шляхи катаболізму ростового субстрату у біологічного агента	42
4.2.Біотрансформація ростового субстрату у цільовий продукт	43
РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ...	49
5.1. Обґрунтування способу культивування і типу ферментера	49
5.1.1. Вибір умов і способу культивування	49
5.1.2. Вибір типу ферментера	51
5.2. Обґрунтування вибору стадії підготовки аераційного повітря.....	55
5.3. Вибір миючих та дезінфікуючих засобів	55

5.4. Особливості підготовки та стерилізації поживного середовища	71
5.4.1 Особливості підготовки поживного середовища для одержання інокуляту в колбах	73
5.4.2. Особливості підготовки поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 8 л	74
5.4.3. Особливості підготовки поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 50 л	75
5.4.4. Особливості підготовки поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 300 л	75
5.4.5. Особливості підготовки поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 1,8 м ³	76
5.4.6. Особливості підготовки поживного середовища для виробничого біосинтезу у фотобіореакторі об'ємом 10 м ³	76
5.5. Обґрунтування стадій виділення і очищення цільового продукту .	77
5.5.1. Відділення біомаси	77
5.5.2. Промивання біомаси.....	80
5.5.3. Відділення біомаси	80
5.5.4. Висушування біомаси.....	81
5.5.5. Подрібнення біомаси	83
5.5.6. Просіювання.....	84
5.5.7. Фасування та пакування.....	84
5.6. Складання узагальненої принципової схеми із позначенням обраних післяферментаційних етапів	85
5.7. Втрати цільового продукту на обраних післяферментаційних етапах отримання біомаси <i>Spirulina platensis</i>	86
РОЗДІЛ 6. СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ.....	88
РОЗДІЛ 7. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ.....	91
РОЗДІЛ 8. КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА	104
8.1. Карта постадійного контролю доферментаційних процесів	104

8.2. Мікробіологічний контроль.....	108
8.3. Контроль концентрації джерел вуглецевого і азотного живлення	110
8.3.1. Концентрація джерела азоту.....	110
8.3.2. Концентрація джерела вуглецю.....	111
8.4. Показники росту і синтезу цільового продукту.....	113
8.4.1. Концентрація біомаси.....	113
8.4.2. Концентрація білку.....	114
8.5. Методи ідентифікації цільового продукту.....	118
8.6. Визначення показників якості.....	119
РОЗДІЛ 9. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ.....	123
9.1. Аналіз технологічної схеми виробництва цільового продукту на місця емісії твердих, рідких та газоподібних відходів.....	123
9.1.1. Розрахунок орієнтовного об'єму стічних вод.....	124
9.1.2. Визначення середніх витрат стічних вод від промислового підприємства.....	126
9.2. Перспективи впровадження системи екологізації виробництва	127
9.2.1. Система знешкодження та утилізації рідких відходів.....	128
9.2.3. Система знешкодження газоповітряних викидів.....	131
9.2.4. Система знешкодження та утилізації твердих відходів.....	132
9.2.5. Заходи щодо зменшення об'ємів відходів.....	133
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	134

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці виробництва біологічно активної добавки спіруліна, шляхом культивування ціанобактерії *Spirulina platensis* на поживному середовищі Зарукка з меншим вмістом K_2HPO_4 , що за 32 доби утворює 3,59 г/л біомаси.

З метою використання даної біомаси як біологічно активної добавки розрахована річна потужність виробництва, яка становить 206 кг/рік.

Виробництво спіруліни передбачає ряд допоміжних робіт, які включають в себе санітарну підготовку виробництва та приготування поживних середовищ.

До технологічного процесу виробництва БАДу відносяться підготовка посівного матеріалу, 5 стадій вирощування посівного матеріалу та виробничий біосинтез у фотобіореакторі об'ємом 10 м^3 з коефіцієнтом заповнення 0,9 та стадії виділення, які включають в себе фільтрування біомаси, промивання біомаси, висушування, подрібнення, просіювання, фасування та пакування. Технологія вирощування посівного матеріалу та виробничий біосинтез спіруліни зазначена в технологічній та апаратурній схемах кваліфікаційної роботи.

Розроблено карту постадійного контролю доферментаційних процесів і виробничого біосинтезу та зазначено методики контролю концентрації біомаси, білку, джерела карбону та азоту.

Кваліфікаційна робота включає в себе 147 сторінок друкованого тексту, включаючи 28 таблиць та 21 рисунок, складається з вступу, дев'яти розділів, списку використаної літератури (124 найменувань) та графічної частини (2 листа формату А1).

Ключові слова: *Spirulina platensis*, біомаса, ціанобактерія, мікроводорості, фотобіореактор, середовище культивування, фільтрація, сушіння, промивання, каротиноїди, хлорофіл, фікоціанін, вітаміни.

ABSTRACT

The qualification work is devoted to the development of the production of a biologically active additive spirulina by cultivating the cyanobacterium *Spirulina platensis* on Zarukka nutrient medium with a lower K_2HPO_4 content, which forms 3.59 g/l of biomass in 32 days.

In order to use this biomass as a biologically active additive, the annual production capacity was calculated to be 206 kg/year.

The production of spirulina involves a number of auxiliary activities, including sanitation of the production site and preparation of nutrient media.

The technological process of the dietary supplement production includes preparation of seed material, 5 stages of seed cultivation and production biosynthesis in a 10 m³ photobioreactor with a filling factor of 0.9 and extraction stages, which include biomass filtering, biomass washing, drying, grinding, sieving, packaging and packing. The technology of growing seed and production biosynthesis of spirulina is indicated in the technological and hardware schemes of the qualification work.

A map of stage-by-stage control of pre-fermentation processes and production biosynthesis has been developed, and methods for controlling the concentration of biomass, protein, carbon and nitrogen sources are indicated.

The qualification work includes 147 pages of printed text, including 28 tables and 21 figures, consists of an introduction, nine chapters, a list of references (124 titles) and a graphic part (2 sheets of A1 format).

Key words: *Spirulina platensis*, biomass, cyanobacterium, microalgae, photobioreactor, culture medium, filtration, drying, washing, carotenoids, chlorophyll, phycocyanin, vitamins.

ВСТУП

Близько п'яти десятиліть тому масове виробництво певних мікроводоростей, багатих на білок, розглядалося як можливість закрити передбачувану так звану «білкову прогалину». Всебічні аналізи та дослідження поживних речовин показали, що ці білки водоростей мають високу якість і їх можна порівняти зі звичайними рослинними білками. На сьогоднішній день більшість препаратів з мікроводоростей продаються як здорова їжа, косметика або як корм для тварин. З початку 50-х років були докладені інтенсивні зусилля досліджувати нові альтернативні джерела білка як їжу. У водоростях слід підкреслити, що через технічні та економічні причини загальним наміром є не виділення та використання єдиного білка, а розмноження всієї біомаси водоростей [1].

На сьогоднішній день загальний дефіцит білка на планеті оцінюється в 10 - 25 млн. т на рік. З 8 млрд. людей, які живуть на Землі, приблизно половина страждає від нестачі білка. На кожного жителя Землі припадає близько 60 г білка на добу, при нормі 70 г, тому актуальним є промислове виробництво біологічно активної добавки спіруліна мікроводоростями, оскільки спіруліна має цінні для людини властивості [2].

Препарат спіруліна вважається чудовою їжею, яка не містить токсичності та має коригувальні властивості проти вірусних атак, анемії, росту пухлин і недоїдання. Препарат спіруліна застосовується при хронічних захворюваннях шлунково-кишкового тракту, нормалізуючи мікрофлору кишечника. Позитивно впливає на функцію щитовидної залози, має імуномодулюючі властивості. Препарат компенсує білкову, вітамінну, мінеральну недостатність [3].

Актуальність

Культивування *Spirulina platensis* - це актуальна задача з кількох причин:

Spirulina platensis вважається одним з найбільш перспективних джерел білка для людства. Вона багата не лише білком, але і вітамінами, мінералами та

					НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ			
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Заярнюк З.В.					9	147
Перевір.		Резніченко Ю.М.						
Консультант								
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.				Кафедра БТМ		

антиоксидантами. Розробка методів культивування може сприяти створенню ефективних систем вирощування, що забезпечать стабільні поставки харчових ресурсів [2].

Культивування *Spirulina platensis* може бути екологічно ефективним процесом. Вона може зростати у водоймах з відносно низьким рівнем якості води, та використовує CO₂ та нітрати в процесі фотосинтезу, що може допомогти в очищенні води та зменшенні викидів CO₂ [4].

Spirulina platensis також має потенціал для використання у біотехнологічних процесах, таких як виробництво біопалива, біологічний захист рослин, очищення води та інше.

Деякі дослідження показали можливість застосування *Spirulina platensis* в медицині, зокрема для зниження холестерину та підтримки здоров'я шкіри. Екстракти спіруліни часто використовуються у косметичних засобах для шкіри та волосся через свої зволожуючі, живильні та омолоджуючі властивості [5].

Отже, розробка ефективних методів культивування *Spirulina platensis* має великий потенціал у різних сферах, включаючи харчову промисловість, біотехнологію, охорону навколишнього середовища та медицину.

Новизною даної кваліфікаційної роботи є впровадження ефективної технології культивування *Spirulina platensis* на середовищі Заррука з меншим вмістом K₂HPO₄ для отримання високої концентрації біомаси - 3.59 г/л, яка складається з 70% рослинного білка та легко засвоюється організмом [6].

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦІЛЬОВОГО ПРОДУКТУ

Spirulina platensis — це одноклітинні та нитчасті синьо-зелені водорості, які набули значної популярності в індустрії здорового харчування та все частіше як біологічно активна добавка [7].

1.1. Поживна цінність препарату на основі *Spirulina platensis*

До складу біомаси спіруліни входять усі групи поживних речовин – білки, вуглеводи, жироподібні речовини та мінеральні сполуки.

Хімічний склад біомаси може істотно змінюватися залежно від умов культивування (склад живильного середовища, освітлення, температура, рН середовища).

Серед різних видів мікрowodоростів більшу увагу привертає синьо-зелена водорість *Spirulina platensis*, оскільки вона демонструє високий поживний вміст:

- білок (55 -70%);
- вуглеводи (15%-25%);
- незамінні жирні кислоти (18%);
- вітаміни;
- мінерали;
- пігменти, такі як хлорофіл А і фікоціанін.

Білки спіруліни займають проміжне положення між білками тваринного та рослинного походження, що пояснюється низькою концентрацією лізину в протеїні спіруліни (табл. 1.1) [8].

Таблица 1.1.

Хімічний склад біомаси спіруліни, % на суху речовину

Поживні речовини	Вміст,%	Мінеральні речовини	Вміст,%
Сирий протеїн	87-91	Зола	6-8
Білок	60-70	Кальцій	0,08-0,12
Небілкові азотисті сполуки	21-27	Фосфор	0,7-0,9
Клітковина	1-2		

					НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ			
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 1. Характеристика цільового продукту	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Заярнюк З.В.						11	147
Перевір.	Резніченко Ю.М.							
Консультант								
Н. Контр.								
Затверд.	Стабніков В.П.				Кафедра БТМ			

Суша речовина біомаси спіруліни має високий вміст вітамінів (табл. 1.2), чим і пояснюється її біологічний вплив на організм [8].

Особливо слід відзначити наявність у спіруліни таких вітамінів, як токоферол, ергостерин, інозитол і кобаламін, роль яких дуже важлива у процесах відтворення. Окрім цього, більшість з названих вітамінів не виробляються в Україні і мають ввозитися з-за кордону. Лікарі рекомендують приймати спіруліну для профілактики гіповітамінозу [9].

Таблиця 1.2.

Вміст вітамінів у сухій речовині спіруліни та хлорели, мг /кг

Вітаміни	Спіруліна	Хлорела	Вітаміни	Спіруліна	Хлорела
Каротиноїди	2200	1900	Холінхлорид	3500	3000
Бета -каротин	1700	1000	Філохінон	12	10
Рибофлавін (В ₂)	30	25-40	Піридоксин (В ₆)	4	9
Токоферол (Е)	190	140	Кобаламін (В ₁₂)	1,6	0,09
Ніацин (РР)	168	120	Інозитол	350	30
Тіамін (В ₁)	55	15	Ергостерин	300	500

До складу сухої речовини спіруліни входять усі біогенні макро- та мікроелементи і вміст їх залежить від наявності цих елементів у живильному середовищі. При культивуванні спіруліни у морській воді або в солоних озерах в біомасі міститься йод. При штучному вирощуванні спіруліни, збільшуючи вміст йоду у стандартних живильних середовищах, можна досягти значного підвищення кількості мікроелементу в біомасі.

Лабільність мінерального складу спіруліни дає можливість одержувати біомасу з необхідною концентрацією біогенних елементів.

Біомаса спіруліни має наступний мінеральний склад (табл.1.3) [10, 11].

Вміст макро та мікроелементів у сухій біомасі спіруліни

Макроелементи	Міститься, г/кг сухої біомаси	Мікроелементи	Міститься, г/кг сухої біомаси
Калій	12-15	Залізо	500-600
Фосфор	7-9	Марганець	150-200
Хлор	3-4	Мідь	100-200
Магній	1,2-1,8	Цинк	30-40
Кальцій	0,8-1,2	Молібден	10-20
Сірка	0,6-0,8	Кобальт	0,3-0,5
Натрій	0,3-0,4	Йод	0,2-0,3

Білки планктонної ціанобактерії – природне джерело всіх необхідних людині амінокислот, у тому числі незамінних [11].

Концентрація жирів у *Spirulina platensis* не перевищує 5 %, що дозволяє віднести даний продукт до дієтичних розрядів. В 10 г водорості містить всього 36 калорій [11].

Спіруліна – рекордсмен із вмісту біодоступного заліза. У ній практично в 100 разів більше цього елемента, ніж у яблуках, редисі чи картоплі. Це робить водорість продуктом вибору при залізодефіцитній анемії, а також при хронічній нестачі лейкоцитів. Всі ці компоненти дозволяють продукту бути максимально корисним і повноцінно насичувати організм енергією [12, 13].

1.2. Основні властивості біологічно-активної добавки

Препарат спіруліна вважається чудовою їжею, яка не містить токсичності та має коригувальні властивості проти вірусних атак, анемії, росту пухлин і недоїдання [14].

Продукт знижує потребу тканин у кисні, посилює енергетичні процеси, регулює травлення. Він застосовується при хронічних захворюваннях шлунково-кишкового тракту, нормалізуючи мікрофлору кишечника. Позитивно впливає на функцію щитовидної залози. Він компенсує білкову, вітамінну, мінеральну

недостатність [12].

У літературі повідомлялося, що використання цих мікродоростей як харчової добавки для тварин передбачає посилення жовтого забарвлення шкіри та яєчного жовтка у домашньої птиці та фламінго, прискорення росту, статевого дозрівання та підвищення плодючості великої рогатої худоби [14].

Особлива цінність є в гамма-ліноленовій кислоті, яку, крім *Spirulina platensis*, можна отримати тільки з грудного молока. Ця цінна речовина допомагає впоратися зі статевим безсиллям та налагодити гормональний фон. У тандемі з токоферолом гамма-ліноленова кислота стимулює функції репродуктивної системи, сприяє зачаттю та виношуванню здорової вагітності. А ось ожиріння, поява шкідливих звичок, депресії та інших психоемоційних розладів може провокуватися дефіцитом цієї речовини [13].

Природні пігменти, що надають водорості такий дивовижно-насичений відтінок, також мають спектр корисних властивостей:

Каротиноїди (приблизно 5,2 мг на 100 г продукту) – допомагають нейтралізувати канцерогенні сполуки, мають антиоксидантні властивості. Необхідні для функціонування зорового апарату, нервової та репродуктивної системи. Мають онкопротекторні властивості. Найбільша частка з усієї маси каротиноїдів у *Spirulina platensis* посідає бета-каротин. Будучи попередником вітаміну А, елемент виконує низку найважливіших функцій – бореться з вільними радикалами, уповільнює процеси старіння, попереджає зростання ракових клітин. Цікаво, що концентрація бета -каротину в *Spirulina platensis* в 10 разів вища, ніж у моркві [13].

Хлорофіл А (50 мг на 100 г продукту) – найцінніше джерело органічного магнію. Завдяки здатності прискорювати синтез гемоглобіну, речовина допомагає у короткий термін нормалізувати склад крові, налагодити роботу органів кровотворення. До того як вчені ретельно вивчили склад спіруліни, основним природним джерелом хлорофілу А вважалася трава люцерни. Так от, у водорості його концентрація вп'ятеро вища [13].

Фікоціанін (до 500 мг на 100 г) - пігмент насиченого синього відтінку, що

надає порошку спіруліна особливий відомий колір. Крім яскравого забарвлення, фікоціанін цінується за виражені онкопротекторні властивості. Речовина не тільки очищає організм від вільних радикалів, що провокують мутацію клітин, а й блокує зростання пухлин, що вже існують. Фікоціанін стимулює роботу лімфатичної системи, забезпечуючи тим самим ефективний захист від інфекцій різного типу [13].

Велика кількість досліджень цього компонента довели позитивні ефекти від прийому добавки. При цьому до цих пір проводяться вивчення її властивостей і відкриваються все нові види впливу на організм. Деякі з них наведені в табл.1.4 [15].

Таблиця 1.4

Основні переваги від прийому добавки

Насичення антиоксидантами	Основний компонент, що виділяється цією рослиною – фікоціанін. Він запускає процес боротьби з різними частинками, які відповідають за виникнення запальних процесів.
Зниження рівня холестерину	Водорість допомагає знизити рівень холестерину, що істотно покращує роботу серцевого м'яза і судин. У проведених дослідженнях було доведено, що після прийому добавки, дані по обстеженням стали демонструвати кращі показники.
Зниження кров'яного тиску	Оскільки ця проблема викликає такі захворювання, як інсульт, інфаркт, серцеві напади і захворювання нирок, то дослідники вирішили поспостерігати дію спіруліни на цей процес. Було виявлено, що 1 грам добавки не ефективний в боротьбі. Методом підбору була підібрана кількість, що дорівнює 4,5 грамам. Це пов'язано з тим, що відбувається виділення оксиду азоту, який спрощує процес розширення і звуження судин.
Дієтичний ефект	Спіруліна для схуднення – це ефективний метод підвищити почуття ситості. Оскільки вона містить велику кількість білка, то при прийомі цієї добавки за 30 хвилин до їжі може знадобитися менша кількість їжі, щоб наситити свій організм.

1.3. Галузі застосування *Spirulina platensis*

Спіруліна, вирощена в чистих водах і в суворо контрольованих умовах, може використовуватися як біологічно активна добавка для людини.

В науковій літературі згадується застосування *Spirulina platensis* для біоремедіації стічних вод. Відомо, що культивування водоростей на виробничих відходах для очищення чи доочищення стічних вод дозволяє докорінно змінити їх склад: вилучити з води до 80% органічних і до 96% мінеральних речовин, зокрема зменшити концентрацію фосфору на 93%, азоту на 75%, що запобігає утворенню еквівалентної кількості нітратів і нітритів: підвищити рівень кисню у воді, що сприяє подальшій окисній мінералізації забруднювальних компонентів; знизити БСК, стабілізувати рН, а також вилучити із забрудненої води поверхнево-активні речовини, гербіциди, інсектициди, радіонукліди, важкі метали: освітлити і дезодорувати воду [4].

Застосування водоростей для очищення стічних вод веде до різкого зменшення патогенної мікрофлори, водорості виділяють не тільки бактерицидні, а й різні біологічно активні речовини, які сприяють поліпшенню загального стану води. Встановлено, що в умовах культивування спіруліни в різних середовищах продукти життєдіяльності цієї водорості згубно діють на деякі види бактерій. Наприклад, якщо вводили в культуру спіруліни *Bacillus subtilis* і *Staphylococcus aureus*, вони зникали уже через 24 години, а розвиток дріжджів сповільнювався і клітини не виявляли здатності до брунькування [5].

Мікрowodорості, вирощені у стічних водах, використовуються як корм для тварин та аквакультур [16]. Прикладом такої продукції є сухий корм для кішок з куркою та спіруліною «Purina One Adult Dual Nature *Spirulina*», сухий корм для дорослих собак середніх і великих порід «Farmina N&D *Spirulina* беззерновий з ягням, спіруліною та ягодами годжі», сухий корм для акваріумних риб Tetra в пластинках «Pleco *Spirulina* Wafers» (для травoїдних донних риб) [17, 18, 19].

Спіруліну доцільно широко використовувати у харчовій промисловості для збагачення традиційних харчових продуктів при виробництві паст, наприклад, виробу макаронні «Felicia» - органічні спагетті зі спіруліною [20], печива, хліба, фрешів, кукурудзяних пластівців, вівсяних висівок таких як Висівки вівсяні Naturalis зі спіруліною та ламінарією [21]. напоїв і легких закусок таких як чіпси «Seapoint

Farms» - чіпси з морськими водоростями, мигдалем та кунжутом [22].

Рослинні екстракти зі спіруліни застосовують для поліпшення смаку м'ясних продуктів та їх збагачення протеїнами [2].

Поряд з використанням біомаси спіруліни як кормового засобу та біологічно активної добавки вона застосовується як сировина для отримання натуральних синьо-зелених пігментів – антоціаніну, фікоціаніну. Варто зазначити, що в харчовій промисловості до цього часу не було натуральних барвників синього кольору, його добивались шляхом змішування інших натуральних барвників [5].

Спіруліна використовується також у медицині та косметології як профілактичний засіб [5].

1.4.Форми випуску біологічно активної добавки

Сама по собі спіруліна, має гіркий смак і зелено-синій колір. Тому для комфортного застосування її змішують з йогуртами, додають в соки, роблять з її додаванням смузі і багато іншого. Зараз придбати цей продукт можна в вигляді БАДу, яка поставляється у формі [23]:

1. Таблеток - найбільш поширена форма, для виробництва якої сировина пресується гарячим способом. Завдяки особливостям будови ціанобактерії практично всі корисні речовини після обробки зберігають свої властивості. Таблетки зручно дозувати та приймати, але щоб приготувати з них коктейль чи косметичну маску – доведеться повозитися.

2. Порошку – природна форма, яка має всі властивості сировинної маси. Його можна додавати в їжу, готувати напої, застосовувати у косметичних цілях. З недоліків – специфічний смак, який не всім до вподоби, та трохи «болотний» запах. Але, незважаючи на це, дітям зазвичай подобається саме така спіруліна.

3. Капсул – оптимальний варіант для дорослих та дітей, яким не подобається смак порошку. Тут висушена сировина укладена в желатинову оболонку, без смаку та запаху. Її легко дозувати та приймати в будь-яких умовах. А якщо потрібний чистий порошок – капсулу легко відкрити та витягти його. Для вегітаріанців деякі

компанії пропонують спіруліну в оболонці з агар-агару, проте коштує вона дорожче.



Рис. 1.1.Форми випуску препарату *Spirulina* [23]

РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА

2.1 Обґрунтування вибору біологічного агента та поживного середовища для його культивування

Так як *Spirulina platensis*, містить велику кількість білків, вітамінів і мінералів, що перевершує багато харчових продуктів, наприклад, соєві боби. Таким чином, Всесвітня продовольча конференція ООН визнала *Spirulina platensis* кращою їжею для майбутнього людства [24].

Універсальне використання водоростей можна пояснити, з одного боку, рівнем поживних речовин, а з іншого боку, визнаними ефектами протівірусної, антибактеріальної, антиоксидантної, протидіабетичної, протиракової та протизапальної речовини. Тому цю водорість називають «суперфудом».

Крім того, ці водорості перетворюють вуглекислий газ на органічні речовини та виробляють кисень під час свого росту в лужній і солоній воді, таким чином не витрачаючи прісну воду[3].

Також відомо, що ціанобактерії синтезують цінні побічні продукти, які використовуються для виробництва білкових гідролізатів, пігментів, тим самим, підвищуючи рентабельність виробничого процесу [3].

Поряд із пошуком нових штамів ціанобактерій здатних до гіперсинтезу, актуальними залишаються дослідження, спрямовані на збільшення виробництва біомаси з уже апробованих і впроваджених у виробництво штамів за допомогою генної інженерії, удосконалення методів культивування, оптимізації поживного середовища тощо.

Отже, для вибору поживного середовища для отримання біологічно активної добавки на основі спіруліни розглянемо наступні поживні середовища та умови культивування. В табл.2.1 наведено вирощування *Spirulina platensis* з використанням різних поживних середовищ та умов культивування.

					НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ			
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Заярнюк З.В.						
Перевір.		Резніченко Ю.М.					19	147
Консультант						Кафедра БТМ		
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.						

Таблиця 2.1

Особливості одержання біомаси на основі *Spirulina platensis*

Біологічний агент	Склад поживного середовища:		Тривалість культивування, год	Концентрація біомаси, г/л	Особливості технологічного процесу	Використана література
	компонент	Концентрація, г/л				
1	2	3	4	5	6	7
<i>Spirulina platensis</i>	Живильне середовище Заррука з додаванням гліцину. NaHCO ₃ K ₂ HPO ₄ NaNO ₃ K ₂ SO ₄ NaCl MgSO ₄ ×7H ₂ O FeSO ₄ ×7H ₂ O CaCl ₂ EDTA Гліцин Розчин мікроелементів	16,8 0,5 2,5 1,0 1,0 0,2 0,01 0,04 0,16 0,15 1 мл	168	2,10	Періодичне культивування у вертикальній трубчастій установці діаметром 8 см і об'ємом 2 л при постійному перемішуванні повітрям. Освітленість на рівні 8 кЛк, тривалість фотоперіоду складала 12 годин на добу. При температурі 30 - 32°C. Початкова густина культури (приблизно 0,15 г сух. реч./л) відповідає оптичній густині при довжині хвилі 750 нм (0,45—0,47). Випаровування рідини з культиватора компенсували кожної доби додаванням дистильованої води. Дистильовану воду додавали перед відбором проб.	Котинський А.В., Салюк А.І., Батіщева Г.С. Особливості впливу гліцину на ріст мікроводорості <i>Spirulina platensis</i> (Gom.) Geit <i>Наукові праці НУХТ</i> 2014. Том 20, № 1
<i>Spirulina platensis</i>	Живильне середовище Заррука з меншим вмістом K ₂ HPO ₄ : K ₂ HPO ₄ NaHCO ₃ NaNO ₃ K ₂ SO ₄ NaCl CaCl ₂ Na ₂ EDTA MgSO ₄ ×7H ₂ O FeSO ₄ ×7H ₂ O Розчин мікроелементів	0,25 16,8 2,5 1,0 1,0 0,04 0,08 0,2 0,01 1,0 мл.	768	3,59	Періодичне культивування в трубчастому фотобіореакторі, Світло подавалося через 57 Вт люмінесцентні лампи з одного боку фотобіореакторів. Світловий період був встановлений на 12/12 годин. при температурі 30° С, рН 8.0, без додавання факторів росту.	Markou G, Chatzipavlidis I, Georgakakis D. Effects of phosphorus concentration and light intensity on the biomass composition of <i>Arthrospira</i> (<i>Spirulina</i>) <i>platensis</i> . <i>World J Microbiol Biotechnol.</i> (2012), 28(8), 2661-70.

Продовження табл. 2.1

<p><i>Spirulina platensis</i></p>	<p>Живильне середовище Заррука: NaHCO₃ 16.8 K₂HPO₄ 0.5 NaNO₃ 2.5 K₂SO₄ 1.0 NaCl 1.0 MgSO₄×7H₂O 0.2 FeSO₄×7H₂O 0,01 CaCl₂ 0,04 EDTA 0,16 Розчин мікроелементів 1 мл</p>	<p>720</p>	<p>1,86</p>	<p>pH 8,8-9, освітленість на рівні 4,5 кЛк, тривалість фотоперіоду складала циклами світло-темрява 12 годин через 12 годин. Температура 30 ± 2 °С. Ручне струшування культури проводили тричі на день.</p>	<p>Dineshkumar R. , Narendran R. & Sampathkumar P. Cultivation of <i>Spirulina platensis</i> in different selective media. <i>Indian Journal of Geo Marine Sciences</i>. 2016, 45(12): 1749-1754</p>
<p><i>Spirulina platensis</i></p>	<p>Живильне середовище Заррука без азоту (NaNO₃) і фосфору (K₂HPO₄): NaHCO₃ 16.8 K₂HPO₄ 0.0 NaNO₃ 0.0 K₂SO₄ 1.0 NaCl 1.0 MgSO₄×7H₂O 0.2 FeSO₄×7H₂O 0,01 CaCl₂ 0,04 EDTA 0,16 Розчин мікроелементів 1 мл</p>	<p>336</p>	<p>0,93</p>	<p>Культивування у бульбашковому фотобіореакторі 10.1 л, висота і ширина 17,00 і 7,50 дюймів при температурі 30 °С, освітлення 2.5-3.5 кЛк, pH 8,8-9.</p>	<p>Saxena R., Rodriguez-Jasso R.M., Chavez M., Aguilar C. Strategy Development for Microalgae <i>Spirulina platensis</i> Biomass Cultivation in a Bubble Photobioreactor to Promote High Carbohydrate Content. <i>Fermentation</i>. 2022, 8(8): 374</p>

Закінчення табл. 2.1

<i>Spirulina platensis</i>	Синтетична людська сеча з додаванням 200 мг натрію ацетат:		144	1.75	Культивування у фотобіореакторі з барботажною колонкою (висота 60 см, діаметр 7,2 см) з робочим об'ємом 1,2 л при температурі 30°C. Під час культивування до культури додають деіонізовану воду (20 мл).	Chang Y., Wu Z., Bian L., Feng D., Leung D. Cultivation of <i>Spirulina platensis</i> for biomass production and nutrient removal from synthetic human urine. <i>Applied Energy</i> . 2013, 102: 427-431
	NH ₄ Cl	22.93				
	NaCl	4.83				
	K ₂ HPO ₄	4.12				
	Na ₂ SO ₄	2.37				
	Креатинін	1				
	MgCl ₂ ×6H ₂ O	0.85				
	Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇	0.65				
	CaCl ₂	0.38				
	KCl	0.29				
CH ₃ COONa	0.2					

Примітка.*-

Склад розчину мікроелементів у живильному середовищі Заррука:

H₃BO₃-2,86 г

MnCl₂×4H₂O-1,81 г

ZnSO₄×7H₂O-0,22 г

CuSO₄×5H₂O-0,08 г

MoO₃-0,015 г

NH₄VO₃-0,023 г

Co(NO₃)₂×6H₂O-0,044 г

Na₂WO₄×2H₂O -0,018 г

Ti₂(SO₄)₃ -0,04 г

NiSO₄×7H₂O-0,048 г

K₂Cr₂(SO₄)₄×24H₂O-0,096 г

Склад розчину мікроелементів у живильному середовищі Заррука з меншим вмістом K₂HPO₄:

H₃BO₃-2,86 г

(NH₄)₆Mo₇O₂₄-0,02 г,

MnCl₂×4H₂O-1,8 г,

Cu₂SO₄-0,08 г,

ZnSO₄*7H₂O- 0,22 г

Проаналізувавши дані наведені в табл. 2.1, можна зазначити що при культивуванні *Spirulina platensis* на живильному середовище Заррука з додаванням гліцину та культивуванні на поживному середовищі Заррука з меншим вмістом K_2HPO_4 показники синтезу біомаси були найвищими.

Отже, на наступному етапі необхідно порівняти вартість поживних середовищ, які використовують для вирощування *Spirulina platensis* табл. 2.2. Внаслідок того, що до поживних середовищ входять мікроелементи вказані у г/л, а загальна концентрація мікроелементів вказана 1 мг/л, то розрахуємо ціну мікроелементів в 1 л розчину, а загальну вартість розчину розділимо на концентрацію в 1 л ПС.

Таблиця 2.2

Вартість поживних середовищ для культивування *Spirulina platensis*

Продуцент та поживне середовище	Компонент поживного середовища	Концентрація у ПС, г/л	Ціна компонента, грн/кг	Вартість компонента (грн.) на 1 л середовища	Джерело інформації (1-30)*	
1	2	3	4	5	6	
<i>Spirulina platensis</i> (Живильне середовище Заррука з меншим вмістом K_2HPO_4)	$NaHCO_3$	16,8	39	0,6552	1	
	K_2HPO_4	0,25	210	0,0525	2	
	$NaNO_3$	2,5	80	0,2	3	
	K_2SO_4	1,0	68	0,068	4	
	$NaCl$	1,0	17	0,017	5	
	$CaCl_2$	0,04	350	0,014	6	
	Na_2EDTA	0,08	260	0,0208	7	
	$MgSO_4 \times 7H_2O$	0,2	168	0,0336	8	
	$FeSO_4 \times 7H_2O$	0,01	51,2	0,000512	9	
	Вартість основних компонентів ПС				1,062	
	Мікроелементи – 1мл/л					
	H_3BO_3	2,86	60	0,000172	18	
	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0,02	2900	0,000058	19	
	$MnCl_2 \times 4H_2O$	1,8	193	0,000347	20	
	Cu_2SO_4	0,08	190	0,0000152	21	
	$ZnSO_4 \times 7H_2O$	0,22	72	0,0000158	22	
	Вартість 1л. р-ну мікроелементів - 0,608				Ціна 1мл/л - 0,000608	
	Вартість 1 л середовища – 1,062грн					

<i>Spirulina platensis</i> (Живильне середовище Заррука додаванням гліцину)	3	NaHCO ₃	16,8	39	0,655	1	
		K ₂ HPO ₄	0,5	210	0,105	2	
		NaNO ₃	2,5	80	0,2	3	
		K ₂ SO ₄	1,0	68	0,068	4	
		NaCl	1,0	17	0,017	5	
		MgSO ₄ ×7H ₂ O	0,2	168	0,0336	8	
		FeSO ₄ ×7H ₂ O	0,01	51,2	0,000512	9	
		CaCl ₂	0,04	350	0,014	6	
		EDTA	0,16	250	0,04	10	
		Гліцин	0,15	500	0,075	11	
		Вартість основних компонентів ПС			1,208		
		Мікроелементи – 1мл/л					
		H ₃ BO ₃	2,86	60	0,000172	18	
		MnCl ₂ ×4H ₂ O	1,81	193	0,000349	20	
		ZnSO ₄ ×7H ₂ O	0,22	72	0,0000158	22	
		CuSO ₄ ×5H ₂ O	0,08	210	0,0000168	21	
		MoO ₃	0,015	2500	0,0000375	23	
		NH ₄ VO ₃	0,023	700	0,0000161	24	
		K ₂ Cr ₂ (SO ₄) ₄ ×24H ₂ O	0,096	2800	0,000269	30	
		NiSO ₄ ×7H ₂ O	0,048	120	0,00000576	25	
		Na ₂ WO ₄ ×2H ₂ O	0,018	700	0,0000126	26	
		Ti ₂ (SO ₄) ₃	0,04	400	0,000016	29	
		Co(NO ₃) ₂ ×6H ₂ O	0,044	750	0,000033	27	
		Вартість 1л. р-ну мікроелементів- 0,943				Ціна 1мл/л- 0,000943	
		Вартість 1 л середовища – 1,21 грн					
	<i>Spirulina platensis</i> (Живильне середовище Заррука)		NaHCO ₃	16,8	39	0,655	1
			K ₂ HPO ₄	0,5	210	0,105	2
		NaNO ₃	2,5	80	0,2	3	
		K ₂ SO ₄	1,0	68	0,068	4	
		NaCl	1,0	17	0,017	5	
		MgSO ₄ ×7H ₂ O	0,2	168	0,034	8	
		FeSO ₄ ×7H ₂ O	0,01	51,2	0,001	9	
		CaCl ₂	0,04	350	0,014	6	
		EDTA	0,16	250	0,04	10	
		Вартість основних компонентів ПС			1,13		
		Мікроелементи – 1мл/л					
		H ₃ BO ₃	2,86	60	0,000172	18	
		MnCl ₂ ×4H ₂ O	1,81	193	0,000349	20	
		ZnSO ₄ ×7H ₂ O	0,22	72	0,000016	22	
		CuSO ₄ ×5H ₂ O	0,08	210	0,000017	21	

	MoO ₃	0,015	2500	0,000038	23
	NH ₄ VO ₃	0,023	700	0,000016	24
	K ₂ Cr ₂ (SO ₄) ₄ ×24H ₂ O	0,096	2800	0,000269	30
	NiSO ₄ ×7H ₂ O	0,048	120	0,000006	25
	Na ₂ WO ₄ ×2H ₂ O	0,018	700	0,000013	26
	Ti ₂ (SO ₄) ₃	0,04	400	0,000016	29
	Co(NO ₃) ₂ ×6H ₂ O	0,044	750	0,000033	27
	Вартість 1л. р-ну мікроелементів- 0,943			Ціна 1мл/л- 0,000943	
	Вартість 1 л середовища – 1,13 грн				
<i>Spirulina platensis</i> (Синтетична людська сеча з додаванням 200 мг натрію ацетат)	NH ₄ Cl	22,93	90	2,0637	12
	NaCl	4,83	17	0,0821	5
	K ₂ HPO ₄	4,12	210	0,3502	2
	Na ₂ SO ₄	2,37	40	0,0948	13
	Креатинін	1,0	4000	4	28
	MgCl ₂ ×6H ₂ O	0,85	35	0,02975	14
	Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇	0,65	170	0,1105	15
	CaCl ₂	0,38	350	0,133	6
	KCl	0,29	70	0,0203	16
	CH ₃ COONa	0,2	200	0,04	17
	Вартість 1 л середовища – 7,439 грн				
<i>Spirulina platensis</i> (Живильне середовище Заррука без азоту (NaNO ₃) і фосфору (K ₂ HPO ₄))	NaHCO ₃	16,8	39	0,6552	1
	K ₂ HPO ₄	0,0	0	0	
	NaNO ₃	0,0	0	0	
	K ₂ SO ₄	1,0	68	0,068	4
	NaCl	1,0	17	0,017	5
	MgSO ₄ ×7H ₂ O	0,2	168	0,0336	8
	FeSO ₄ ×7H ₂ O	0,01	51,2	0,000512	9
	CaCl ₂	0,04	350	0,014	6
	EDTA	0,16	250	0,04	10
	Вартість основних компонентів ПС			0,828	
	Мікроелементи – 1мл/л				
	H ₃ BO ₃	2,86	60	0,000172	18
	MnCl ₂ ×4H ₂ O	1,81	193	0,000349	20
	ZnSO ₄ ×7H ₂ O	0,22	72	0,000016	22
	CuSO ₄ ×5H ₂ O	0,08	210	0,000017	21
	MoO ₃	0,015	2500	0,000038	23
	NH ₄ VO ₃	0,023	700	0,000016	24
	K ₂ Cr ₂ (SO ₄) ₄ ×24H ₂ O	0,096	2800	0,000269	30
	NiSO ₄ ×7H ₂ O	0,048	120	0,000006	25
	Na ₂ WO ₄ ×2H ₂ O	0,018	700	0,000013	26
	Ti ₂ (SO ₄) ₃	0,04	400	0,000016	29
	Co(NO ₃) ₂ ×6H ₂ O	0,044	750	0,000033	27
	Вартість 1л. р-ну мікроелементів - 0,945	Ціна 1мл/л- 0,000945			
	Вартість 1 л середовища – 0,83 грн				

Примітка. * - ціни наведено на лютий 2023 р.–

1. <https://prom.ua/ua/p272053801-bikarbonat-natriya-soda.html>,
2. <https://prom.ua/ua/p953593209-kalij-fosfornokislyzameschennyj.html?&primelead=MC40MjU>,
3. <https://him-component.com.ua/p579758604-nitrat-natriya-1kg.html>,
4. <https://prom.ua/ua/p269175378-sulfat-kaliya-sernokislyj.html>,
5. <https://prom.ua/ua/p1614580893-hlorid-natriya-povarennaya.html?&primelead=MC40MjU>,
6. <https://ukrchemgroup.com.ua/p962750332-kaltsij-hloristyj-cacl2.html>,
7. <https://prom.ua/ua/p1293380085-trilon-edta-2na.html?&primelead=My42>,
8. <https://prom.ua/ua/p1300436998-sulfat-magniya-mgso47h2o.html>,
9. <https://klebrig.com.ua/ua/p1769551055-zheleznyj-kuporos-klebrig.html>,
10. <https://prom.ua/ua/p1641973229-etilendiamintetrauksusnaya-kislota-edta.html?&primelead=My42>,
11. https://profiprot.com.ua/p626969032-aminokislota-glitsin-farm.html?source=merchant_,
12. <https://prom.ua/ua/p379496072-ammonij-hloristyjhlorid-ammoniyachchdahch.html?&primelead=MC45NQ>,
13. <https://prom.ua/ua/p1465730168-natrij-sernokislyj-na2so4.html?&primelead=NC41>,
14. <https://klebrig.com.ua/ua/p1569350091-magnij-hloristyj-klebrig.html>,
15. <https://easysoap.com.ua/ua/citrat-natriya/>,
16. <https://prom.ua/ua/p1748402734-kalij-hloristyj.html?&primelead=MS45>,
17. https://www.covalent.com.ua/ru/shop/sodium_acetate/,
18. <https://ru.himozon.com.ua/store/>,
19. https://shop.hlr.ua/molibden-icp-standart-nh46mo7o24-v-h2o-1000-mgl-mo-certipur-100_ml-236898.html,
20. <https://prom.ua/ua/p277934134-marganets-hloristyj-vodnyj.html>,
21. <https://xn--dlabagmkkf1k.xn--j1amh/product/mednyy-kuporos-copper-sulfate-99-1-51620/>,

22. <https://klebrig.com.ua/ua/p1481084526-sulfat-tsinka-vodnyj.html>,
23. <https://prom.ua/ua/p1091478533-molibden-oksid>,
24. <https://flagma.ua/ammoniy-vanadievokisly-o2615354.html>,
25. <https://flagma.ua/nikel-sernokisly-teh-o13134786.html>,
26. <https://flagma.ua/natriy-volframovokisly-o2889748.html>,
27. <https://prom.ua/ua/p536463451-kobalt-azotnokislyj-nitrat.html>,
28. <https://shop.hlr.ua/ua/serotonin-kreatinin-sulfat-monogidrat-gt985-thermo-fisher-scientific-1-g-241983.html>,
29. <https://prom.ua/ua/p1096841102-titan-nitrid-poroshok.html>,
30. <https://www.sigmaaldrich.com/UA/en/product/sigald/243361> .

Дані, наведено у табл. 2.2, свідчать що середовище Заррука з меншим вмістом K_2HPO_4 для культивування *Spirulina platensis* є дешевшим, ніж живильне середовище Заррука з додаванням гліцину.

Для того, щоб остаточно обрати ефективне поживне середовище, необхідно розрахувати умовну вартість одного граму біомаси *Spirulina platensis* табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Умовна вартість 1 мг біомаси при культивуванні *Spirulina platensis*

Біологічний агент та поживне середовище	Концентрація біомаси, г/л	Тривалість культивування, год	Кількість утвореної біомаси за годину, г/год	Вартість 1 л середовища, грн/л	Умовна вартість 1 г цільового продукту, грн/г
1	2	3	4	5	6
<i>Spirulina platensis</i> (Живильне середовище Заррука з меншим вмістом K_2HPO_4)	3,59	768	0,0047	1,062	0,3
<i>Spirulina platensis</i> (Живильне середовище Заррука без $NaNO_3$ і K_2HPO_4)	0,93	336	0,0028	0,83	0,9
<i>Spirulina platensis</i> (Живильне середовище Заррука з додаванням гліцину)	2,1	168	0,0125	1,21	0,58

<i>Spirulina platensis</i> (Синтетична людська сеча з додаванням 200 мг натрію ацетат)	1,75	144	0,0122	7,439	4,25
<i>Spirulina platensis</i> (Живильне середовище Заррука)	1,86	720	0,0026	1,13	0,61

Проаналізувавши дані наведені в табл. 2.1, табл.2.2 і табл. 2.3, можна зробити висновок, що доцільніше використовувати середовище Заррука з меншим вмістом K_2HPO_4 для одержання біомаси на основі спіруліни, оскільки у *Spirulina platensis* в даному середовищі найбільша продуктивність - 3,59 г/л, хоча в порівнянні з іншими тривалість культивування на даному середовищі найдовша і складає 768 год, але кількість біомаси на годину становить 0,0047 г/год, тому цільовий продукт буде мати дешеву умовну вартість 1 г - 0,3 грн/г в порівнянні з рештою розглянутих поживних середовищ.

2.2. Морфолого -культуральні та фізіолого-біохімічні ознаки біологічного агента

Spirulina platensis є ниткоподібними грамнегативними ціанобактеріями (Рис. 2.1). Ці водорості мають трихомальну будову тіла, тобто обов'язковим елементом їх будови є ниткуватий утвір – трихом, який складається з одного, рідше з двох або багатьох рядів клітин [25].

Синьозеленим водоростям не притаманна джгутикова, тобто монадна форма будови.

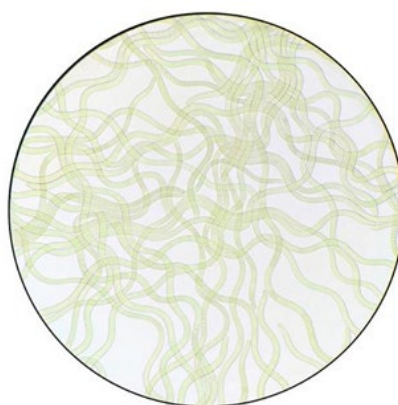


Рис.2.1. Морфологічна структура *Spirulina platensis* (× 40)

Під світловою мікроскопією синьо-зелені негетероцистозні нитки, що складаються з вегетативних клітин, які зазнають подвійного поділу в одній площині, демонструють легко помітні поперечні стінки. Нитки поодинокі, вільно плавають і демонструють ковзаючу рухливість. Трихоми, огорнуті тонкою оболонкою, демонструють більш-менш злегка виражені звуження на поперечних стінках і мають злегка або зовсім не ослаблені вершини. Верхівкові клітини можуть бути широко округлими або загостреними, а також можуть бути головчастими та каліптовими. Ширина трихом, що складаються з циліндричних клітин, коротших ніж широких, коливається приблизно від 6 до 12 мкм (16 мкм) у різноманітних формах. Фактори навколишнього середовища, головним чином температура, фізичні та хімічні умови, можуть впливати на геометрію спіралі.

Незважаючи на те, що в синьозелених водоростей не сформувались оточене оболонкою ядро і такі органели, як хлоропласти і мітохондрії, вакуолі, наповнені клітинним соком, їм властива висока морфологічна складність. Їх клітинні стінки ригідні, клітини оточені плазматичною і зовнішньою мембранами, між якими розташований жорсткий шар мукополімеру муреїну. Це складна молекула, побудована з одного полімеру, який забезпечує опорну та захисну функції [25].

Крім клітинної стінки синьозелені водорості здебільшого вкриті слизовою обгорткою, яка є продуктом екскреції її складових компонентів з клітин водоростей.

ДНК як носій генетичної інформації локалізована у фібрилярно-зернистій нуклеоплазматичній ділянці клітини в хроматинових елементах, які розглядаються як ядерні еквіваленти. При центральному розміщенні в клітині ДНК ця ділянка клітини носить назву нуклеоплазми. Як у центральній, так і в периферичній частині клітин локалізуються рибосоми –рибонуклеопротейдні структури, які мають вигляд гранул розміром 10 -15 мкм. За нуклеотидним складом ДНК синьозелених водоростей майже не відрізняється від ДНК інших організмів [26].

При культивуванні *Spirulina platensis* на живильному середовищі Зарука через 14-днів утворюються непрозорі, зелені, колонії [27].



Рис. 2.2. Вирощування *Spirulina platensis* в промислових умовах [28]

Spirulina platensis є факультативним аеробом. Мезофіл - оптимальна температура для росту становить 35-38 °С, алкалофіл – оптимальне значення рН 8,5-11,5. За типом живлення – міксотроф. [29, 30].

2.3. Таксономічний статус біологічного агенту

Згідно бази даних World Register of Marine Species рід *Arthrospira (Spirulina)* належить до ниткоподібних грамнегативних бактерій, є представником типу *Cyanobacteria* [31].

Царство - *Bacteria*

Підцарство - *Gracilicutes*

Тип - *Cyanobacteria*

Клас - *Cyanophyceae*

Підклас - *Oscillatoriophyceidae*

Порядок - *Oscillatoriales*

Родина - *Microcoleaceae*

Рід - *Arthrospira (Spirulina)*

Вид – *platensis*.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1. Потреби населення України у Спіруліні

Спіруліна – це суперфуд, який має багато поживних речовин і став популярним серед людей, які дотримуються здорового харчування. Вона містить незамінні амінокислоти, підвищує рівень гемоглобіну в крові, а також є джерелом легкозасвоюваного білка - 68 % від сухої маси. Так 36 г спіруліни забезпечують щоденну потребу дорослої людини в незамінних амінокислотах більш ніж на 100 %. Засвоюваність білку спіруліни становить 85...90%, що вище, ніж засвоюваність білку молока [32].

Встановлено, що спіруліна відрізняється здатністю концентрувати неорганічний йод з культурального середовища й потім синтезувати фізіологічно активні сполуки йоду, що мають гормональний ефект. Це дозволяє використовувати її для виробництва гормональних сполук, для біостимуляції інших біологічно активних препаратів. В умовах відчутного дефіциту йоду в харчових продуктах і кормах, виробництво харчових БАДів, збагачених цим елементом, є надзвичайно важливим. Добова потреба в йоді становить 100 мкг для дітей або 200 мкг для дорослих [32].

На сьогодні вивчено можливість використання мікроводоростей для одержання хромовмісних і селеновмісних органічних сполук. Більш ніж у 80 % населення нашої країни забезпеченість селеном нижча від оптимального рівня. У природних умовах селен надходить у живий організм головним чином у вигляді амінокислот селенометіоніну й селеноцистеїну, а також у формі селеніту натрію. Значущість мікроелементу селену для організму людини й тварин згідно сучасним уявленням, багато в чому визначається його антиоксидантною дією. Він запобігає утворенню хімічно активних часток кисню, має антиоксидантну дію, подібну до дії вітамінів Е, С.

					<i>НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО– ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Заярнюк З.В.</i>						31	147
<i>Перевір.</i>	<i>Резніченко Ю.М.</i>					Кафедра БТМ		
<i>Консультант</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Стабніков В.П.</i>							

З дефіцитом селену в організмі пов'язують виникнення серцево-судинних, онкологічних, астматичних, гастроентерологічних захворювань, передчасне старіння [33].

Крім того, що спіруліна насичує організм корисними речовинами, необхідними для роботи всіх органів і систем, вона має ще цілий ряд корисних властивостей [34]:

1. Є антиоксидантом – зв'язує вільні радикали, виводить з організму радіонукліди, солі важких металів. Саме завдяки потужним антиоксидантним властивостям спіруліна є онкопротектором.
2. Є цитопротектором – активує здатність клітин правильно функціонувати та самооновлюватися.
3. Завдяки високому вмісту магнію, регулярний прийом спіруліни підтримує серце, запобігає розвитку анемії та атеросклерозу, є ефективною профілактикою утворення тромбів.
4. Позитивно впливає на роботу травної системи, прискорює загоєння ерозій і бореться з подразненням органів ШКТ, може допомагати від печії.
5. Сприяє здоровому харчуванню і поліпшенню ефекту дієт, спрямованих на схуднення. Водорість містить мало жирів і калорій, але вона містить амінокислоту, яка пригнічує апетит.
6. Завдяки високому вмісту білка наповнює організм енергією, допомагає збільшити фізичну активність і підсилює відновні можливості організму.

Згідно з реєстром лікарських засобів - спіруліна не є лікарським препаратом, а в інструкціях по застосуванню в різних виробників є різні рекомендації по її прийому, однак лікарі радять починати прийом з малого дозування через можливу індивідуальну непереносимість. Вживати біодобавку можна багатьом віковим категоріям, а також при вагітності і лактації. Але не рекомендується приймати добавку тим, у кого є будь-які захворювання шлунково-кишкового тракту в стадії загострення: гастрит, холецистит, панкреатит і т. д. Відтак можуть виникати сильні болі в шлунку. Не рекомендовано включати до раціону, якщо є хронічні захворювання нирок і гіпертонії.

Згідно інструкції по застосуванню даного препарату, до складу 1 таблетки

входить 500 мг спіруліни, а термін вживання для профілактики становить по 3 таблетки на день впродовж 30 діб. Потім необхідно зробити перерву на 2-3 тижні і можна знову включати спіруліну до меню. Такими циклами водорість можна приймати на постійній основі [35].









3.2. Розрахунок потужності виробництва

За даними наведеними в пункті 3.1 в Україні є значна потреба в спіруліні. В табл.3.1 наведений перелік виробників біологічно активних добавок на основі спіруліни на ринку України.

Таблиця 3.1

Торгові марки біологічно активних добавок на основі спіруліни

	Препарат	Дозування	Країна виробник
	Натуральна спіруліна, <i>Spirulina</i> , Now Foods, 100 капсул	500 мг	США
	Спіруліна, <i>Spirulina</i> , Solgar, 250 таблеток	750 мг	США
	Спіруліна органічна Healthy Origins (<i>Organic Spirulina</i>), 30 таблеток	500 мг	США
	Спіруліна, <i>Spirulina</i> , Swanson, 180 таблеток	1000 мг	США

	Спіруліна (мікро-водорості), Nature's Way, 100 капсул	380 мг	США
	Спіруліна, <i>Spirulina</i> , Arnas Natural, 100 капсул	500 мг	США
	Спіруліна, <i>Spirulina</i> , Puritan's Pride, 100 таблеток	500 мг,	США
	Спіруліна, <i>Spirulina</i> , California Gold Nutrition, органик, 60 таблеток	500 мг	США
	Спіруліна Біоактив, Еліт-Фарм, 80 таблеток	500 мг	Україна
	Спіруліна, <i>Spirulina</i> , Biotus, 100 таблеток	500 мг	Україна
	Спіруліна, Голден-Фарм, 200 таблеток	500 мг	Україна
	Спіруліна, УльттраКап, 100 капсул	1310 мг	Україна

Аналізуючи табл 3.1 можна зробити висновок, що в Україні спіруліна доступна у вигляді наступних лікарських формах: таблеток, капсул та порошку. Серед

виробників даного БАД слід виділити наступних: Now Foods, Solgar, Healthy Origins, Swanson, Nature's Way, дані виробники є світовими флагманами в сфері виробництва біологічно активних добавок хімічного та біотехнологічного походження. В Україні є також вітчизняні виробники спіруліни, а саме: Еліт -Фарм, Biotus, Голден-Фарм, УльтраКап.

Проведено незалежне соціологічне опитування населення щодо вживання біодобавок та узагальнено дані з оцінки ситуації щодо застосування БАДів українцями. За результатами анкетування встановлено, що з опитуваних, 72% населення України вживають біодобавки. На основі даних статистики по Україні та використовуючи дані анкетування встановлено, що всього в 2019 році в Україні спожито близько 59,7 мільйонів упаковок біодобавок [36].

Згідно статистики 2019 року світовий ринок біодобавок становить 167,8 млрд дол. США, а частка спіруліни на цьому ринку 394 млн дол. США [37, 38].

Тоді частка спіруліни на світовому ринку становить:

$$167,8 \text{ млрд} - 100 \%$$

$$0.394 \text{ млрд} - X \%$$

$$X = (0.394 \times 100) / 167,8 = 0.23 \%$$

Так як ринок БАДів в Україні не регулюється, у відкритих джерелах відсутня інформація про відсоток спіруліни на ринку, то припустимо що він відповідає частці спіруліни на світовому ринку БАДів.

Визначаємо теоретичну кількість упаковок спіруліни, що спожито за 2019 рік:

$$59,7 \text{ млн} \times 0,0023 = 137 \text{ 310 упаковок}$$

Оскільки на ринку БАДів присутня велика конкуренція серед виробників БАДів, то зважаючи на це, для нового виробника, (тобто ми) що через велику конкуренцію в виробництві, продаж можливий у відсотковому відношенні 3% від українського ринку спіруліни. Тому для розрахунку беремо 3 % від загального українського ринку спіруліни і розраховуємо нашу річну потребу в спіруліні:

$$137 \text{ 310} \times 0,03 = 4 \text{ 120 упаковок}$$

Враховуючи що одна упаковка містить 100 таблеток по 500 мг, тоді спіруліни в 1 упаковці:

$$100 \times 500 \text{ мг} = 50 \text{ г}$$

Визначаємо кількість спіруліни, що спожито за 2019 рік:

$$G_{\text{гп}} = 4 \cdot 120 \times 50 \text{ г} / 1000 = 206 \text{ кг/рік}$$

Отже, для забезпечення ринку України біодобавкою, необхідно отримувати 206 кг сухої спіруліни в рік.

3.3. Розрахунок кількості виробничих циклів для отримання річної потреби в цільовому продукті та геометричний об'єм фотобіореактора

Потужність нашого виробництва спіруліни становить $G_{\text{гп}} = 206$ кг/рік. Субстанцію спіруліни отримують сухою із залишковою вологою $W = 10 - 12\%$, отже сухої речовини в продукті буде $CP = 0,9$ (частка) [39]. За даними статті при культивування *Spirulina platensis* було отримано 3,59 г/л біомаси [6].

Враховуючи, специфічні умови проведення процесу культивування *Spirulina platensis*, біосинтез буде проводитись в період коли сонячна активність найвища: з 15 березня по 15 жовтня (210 діб), потрібно розрахувати об'єм фотобіореактора, за допомогою якого буде отримано річну потребу спіруліни.

Кількість виробничих циклів на рік становить:

$$N_{\text{цк}} = 24 \times T_{\text{рд}} / T_{\text{цф}} = 24 \times 210 / 772,5 = 6,5, \text{ а отже } 7 \text{ циклів.}$$

де $T_{\text{цф}}$ – цикл роботи фотобіореактора, який включає тривалість виробничого біосинтезу (768 год) та час підготовки фотобіореактора до роботи, (4,5 год) що включає: мийку та огляд – 1,5 год, перевірку на герметичність – 0,5 год, завантаження поживного середовища – 1,5 год, засів культурою – 0,5 год, вивантаження – 0,5 год і становить 772,5 години.

Кількість продукту за цикл складає:

$$G_{\text{цк}} = G_{\text{гп}} / N_{\text{цк}} = 206 / 7 = 29,43 \text{ кг/цикл.}$$

Об'єм культуральної рідини, що зливається за один цикл, із врахуванням сумарних втрат цільового продукту при виділенні (10 %):

$$V_{\text{кр}\cdot 1} = K_1 \times G_{\text{цк}} \times CP_{\text{гп}} / (P_{\text{кр}} \times (1 - E_{\text{св}})) = 1,1 \times 29,43 \times 0,9 / (3,59 \times (1 - 0,1)) = 9 \text{ м}^3/\text{цикл.}$$

Де $E_{\text{св}}$ - втрати при виділенні, які включають фільтрування (4 %), промивання (0,5 %), сушіння (2,5 %), подрібнення (1 %), просіювання (1 %), фасування та пакування (1 %) і становлять 10 %. K_1 – коефіцієнт запасу, що враховує можливість

нестерильних операцій ($K_1 = 1,1$).

Так як відсутня аерація, не буде відбуватись втрата культуральної рідини через краплинос, тому $V_{кр.1} = V_{\phi}$.

Розраховуємо приблизний геометричний об'єм фотобіореактора:

$$V_{пф} = V_{\phi} / K_3 = 9 / 0,9 = 10 \text{ м}^3.$$

Приблизний геометричний об'єм фотобіореактора співпадає зі значенням в таблиці типових об'ємів ферментерів $V_{гф} = 10 \text{ м}^3$.

Уточнюємо коефіцієнт заповнення:

$$K_{з1} = V_{\phi} / V_{гф} = 9 / 10 = 0,9$$

Уточнений коефіцієнт заповнення перебуває у вибраних межах для анаеробних процесів (0,8-0,9), отже геометричний об'єм фотобіореактора обрано правильно.

3.4. Розрахунок кількості стадій підготовки посівного матеріалу

Кількість посівного матеріалу для фотобіореактора становить 20 % від об'єму поживного середовища [40].

Тоді кількість поживного середовища у фотобіореакторі буде складати:

$V_{пс1} = V_{роб.1} / (1 + X_{\phi}) = 9 / (1 + 0,2) = 7,5 \text{ м}^3$, де $X_{\phi} = 0,2$ – доза посівного матеріалу для фотобіореактора.

Кількість посівного матеріалу становить:

$$V_{пм1} = V_{роб.1} - V_{пс1} = 9 - 7,5 = 1,5 \text{ м}^3.$$

Так як відсутня аерація, не буде відбуватись втрата культуральної рідини через краплинос, тоді кількість поживного середовища та посівного матеріалу у посівному апараті становитиме:

$$V_{кр2} = V_{роб.2} = V_{пм1} = 1,5 \text{ м}^3.$$

Кількість посівного матеріалу для фотобіореактора становить 20 % від об'єму поживного середовища [40].

Тоді кількість поживного середовища у фотобіореакторі буде складати:

$V_{пс2} = V_{роб.2} / (1 + X_{па}) = 1,5 / (1 + 0,2) = 1,25 \text{ м}^3$, де $X_{па} = 0,2$ – доза інокуляту для посівного апарату.

Кількість посівного матеріалу для посівного апарату становить:

$$V_{пм2} = V_{роб.2} - V_{пс2} = 1,5 - 1,25 = 0,25 \text{ м}^3 \text{ або } 250 \text{ л.}$$

Таку кількість інокуляту можна одержати під час культивування *Spirulina platensis* у фотобіореакторі з геометричним об'ємом:

$$V_{\text{пф2}} = V_{\text{роб.2}} / K_3 = 1,5 / 0,9 = 1,67 \text{ м}^3.$$

Приймаємо найближчий за об'ємом стандартний фотобіореактор $V_{\text{гф2}} = 1,8 \text{ м}^3$, та уточнюємо прийнятий раніше коефіцієнт заповнення.

$$K_{32} = V_{\text{роб.2}} / V_{\text{гф2}} = 1,5 / 1,8 = 0,833.$$

Уточнений коефіцієнт заповнення перебуває у вибраних межах для анаеробних процесів (0,8-0,9), отже геометричний об'єм фотобіореактора обрано правильно.

Так як відсутня аерація, не буде відбуватись втрата культуральної рідини через краплинонос, тоді кількість поживного середовища та посівного матеріалу у посівному апараті становитиме:

$$V_{\text{кр3}} = V_{\text{роб.3}} = V_{\text{пм2}} = 250 \text{ л.}$$

Кількість посівного матеріалу для фотобіореактора становить 20 % від об'єму поживного середовища [40].

Тоді кількість поживного середовища у фотобіореакторі буде складати:

$V_{\text{пс3}} = V_{\text{роб.3}} / (1 + X_{\text{па}}) = 250 / (1 + 0,2) = 208,33 \text{ л}$, де $X_{\text{па}} = 0,2$ – доза інокуляту для посівного апарату.

Кількість посівного матеріалу для посівного апарату становить:

$$V_{\text{пм3}} = V_{\text{роб.3}} - V_{\text{пс3}} = 250 - 208,33 = 41,67 \text{ л.}$$

Таку кількість інокуляту можна одержати під час культивування *Spirulina platensis* у фотобіореакторі з геометричним об'ємом:

$$V_{\text{пф3}} = V_{\text{роб.3}} / K_3 = 250 / 0,9 = 279 \text{ л.}$$

Приймаємо найближчий за об'ємом стандартний фотобіореактор $V_{\text{гф3}} = 300 \text{ л}$, та уточнюємо прийнятий раніше коефіцієнт заповнення.

$$K_{33} = V_{\text{роб.3}} / V_{\text{гф3}} = 250 / 300 = 0,833.$$

Уточнений коефіцієнт заповнення перебуває у вибраних межах для анаеробних процесів (0,8-0,9), отже геометричний об'єм фотобіореактора обрано правильно.

Так як відсутня аерація, не буде відбуватись втрата культуральної рідини через краплинонос, тоді кількість поживного середовища та посівного матеріалу у посівному апараті становитиме:

$$V_{кр4}=V_{роб.4} = V_{пм3}=41,67 \text{ л.}$$

Кількість посівного матеріалу для фотобіореактора становить 20 % від об'єму поживного середовища [40].

Тоді кількість поживного середовища у фотобіореакторі буде складати:

$V_{пс4} = V_{роб.4} / (1 + X_{па}) = 41,67 / (1 + 0,2) = 34,73$ л, де $X_{па} = 0,2$ – доза інокуляту для посівного апарату.

Кількість посівного матеріалу для посівного апарату становить:

$$V_{пм4} = V_{роб.4} - V_{пс4} = 41,67 - 34,73 = 6,94 \text{ л.}$$

Таку кількість інокуляту можна одержати під час культивування спіруліни у фотобіореакторі з геометричним об'ємом:

$$V_{пф4} = V_{роб.4} / K_3 = 41,67 / 0,9 = 46 \text{ л.}$$

Приймаємо найближчий за об'ємом стандартний фотобіореактор $V_{гф4} = 50$ л, та уточнюємо прийнятий раніше коефіцієнт заповнення.

$$K_{34} = V_{роб.4} / V_{гф4} = 41,67 / 50 = 0,834.$$

Уточнений коефіцієнт заповнення перебуває у вибраних межах для анаеробних процесів (0,8-0,9), отже геометричний об'єм фотобіореактора обрано правильно.

Так як відсутня аерація, не буде відбуватись втрата культуральної рідини через краплинонос, тоді кількість поживного середовища та посівного матеріалу у посівному апараті становитиме:

$$V_{кр5}=V_{роб.5} = V_{пм4}=6,94 \text{ л.}$$

Кількість посівного матеріалу для фотобіореактора становить 20 % від об'єму поживного середовища [40].

Тоді кількість поживного середовища у фотобіореакторі буде складати:

$V_{пс5} = V_{роб.5} / (1 + X_{па}) = 6,94 / (1 + 0,2) = 5,78$ л, де $X_{па} = 0,2$ – доза інокуляту для посівного апарату.

Кількість посівного матеріалу для посівного апарату становить:

$$V_{пм5} = V_{роб.5} - V_{пс5} = 6,94 - 5,78 = 1,16 \text{ л.}$$

Таку кількість інокуляту можна одержати під час культивування *Spirulina platensis* у фотобіореакторі з геометричним об'ємом:

$$V_{пф5} = V_{роб.5} / K_3 = 6,94 / 0,9 = 7,7 \text{ л.}$$

Приймаємо найближчий за об'ємом стандартний фотобіореактор $V_{\text{гф}5} = 8$ л, та уточнюємо прийнятий раніше коефіцієнт заповнення:

$$K_{3,5} = V_{\text{роб.5}} / V_{\text{гф}5} = 6,94 / 8 = 0,868.$$

Уточнений коефіцієнт заповнення перебуває у вибраних межах для анаеробних процесів (0,8 - 0,9), отже геометричний об'єм фотобіореактора обрано правильно.

Таку кількість посівного матеріалу можна отримати під час культивування в колбах об'ємом 750 мл за анаеробних умов, тому коефіцієнт заповнення колб буде дорівнювати 0,8.

$$V_{\text{крб}} = V_{\text{роб.6}} = V_{\text{пм}5} = 1,16 \text{ л.}$$

$$N = 1,16 / (0,75 \times 0,8) = 1,93 = 2 \text{ колби.}$$

Об'єм поживного середовища буде дорівнювати:

$V_{\text{псб}} = V_{\text{роб.6}} / (1 + X_{\text{па}}) = 1,16 / (1 + 0,2) = 0,97$ л, де $X_{\text{па}} = 0,2$ – доза інокуляту для посівного апарату.

Тоді об'єм посівного матеріалу становить:

$$V_{\text{пмб}} = V_{\text{роб.6}} - V_{\text{псб}} = 1,16 - 0,97 = 0,19 \text{ л.}$$

Таблиця 3.2

Об'єми середовищ та апаратів для стадії підготовки посівного матеріалу та виробничого біосинтезу

№ стадії	Об'єм культуральн ої рідини $V_{\text{крб}}, \text{ м}^3$ (л)	Робочий об'єм фотобіореактора $V_{\text{р}}, \text{ м}^3$ (л)	Об'єм поживного середовища, $V_{\text{пс}}, \text{ м}^3$ (л)	Об'єм посівного матеріалу, $V_{\text{пм}}, \text{ м}^3$ (л)	Приблизний об'єм апарата $V_{\text{пф}}, \text{ м}^3$ (л)	Геометричний об'єм ферментера, $V_{\text{гф}}, \text{ м}^3$ (л)
1	2	3	4	5	6	7
VI	9 м ³	9 м ³	7,5 м ³	1,5 м ³	-	10 м ³
V	1,5 м ³	1,5 м ³	1,25 м ³	0,25 м ³	1,67 м ³	1,8 м ³
IV	250 л	250 л	208,33 л	41,67 л	279 л	300 л
III	41,67 л	41,67 л	34,73 л	6,94 л	46,3 л	50 л
II	6,94 л	6,94 л	5,78 л	1,16 л	7,71 л	8 л
I	1,16 л	1,16 л	0,97 л	0,19 л	1,93	2 колби

Отже, процес одержання посівного матеріалу для забезпечення виробничого біосинтезу біомаси *Spirulina platensis* у фотобіореакторі об'ємом 10 м³ та з коефіцієнтом заповнення 0,9 буде проходити у п'ять стадій та сам виробничий

біосинтез. За результатами розрахунків для отримання біомаси *Spirulina platensis* приймаємо до встановлення фотобіореактор об'ємом 10 м³, фотобіореактор об'ємом 1,8 м³, фотобіореактор об'ємом 300 л, фотобіореактор об'ємом 50 л, фотобіореактор об'ємом 8 л.

РОЗДІЛ 4. БІОСИНТЕЗ ЦІЛЬОВОГО ПРОДУКТУ

4.1. Шляхи катаболізму ростового субстрату у біологічного агента

Джерелом вуглецевого живлення та енергії при вирощуванні *Spirulina platensis* є бікарбонат. Користуючись Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes [41] та даними з наукової статті про метаболізм у ціанобактерії *Spirulina platensis* [42], наводимо схему перетворення бікарбонату (рис 4.1).

На першому етапі катаболізму ростового субстрату бікарбонат розкладається до CO₂ за допомогою ферменту карбоангідрази (КФ 4.2.1.1). Далі CO₂ під дією ферменту рибулозодифосфаткарбоксилази (КФ 4.1.1.39) залучається до циклу Кальвіна з утворенням 3-фосфогліцерату. Далі 3-фосфогліцерат використовується для утворення пірувату через декілька послідовних проміжних реакцій: утворення 2-фосфогліцерату під дією ферменту 2,3-дифосфогліцератзалежна фосфогліцератмутази (КФ 5.4.2.11), утворення фосфоенолпірувату за допомогою енолази (КФ 4.2.1.11) та утворення пірувату за допомогою ферменту піруваткінази (КФ 2.7.1.40) [41, 42].

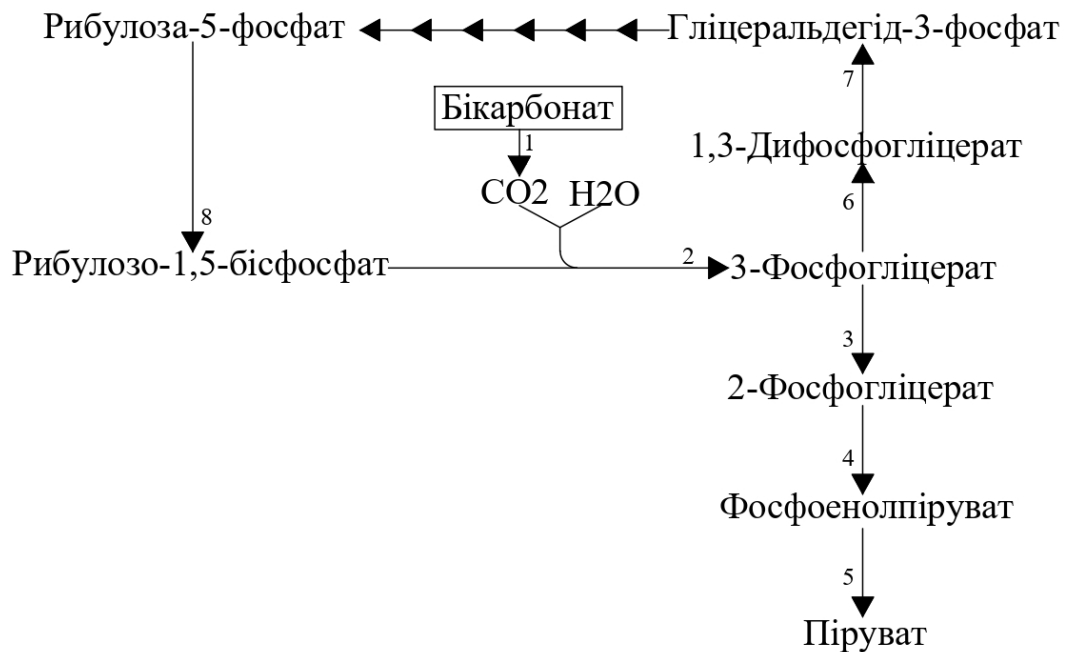


Рис.4.1. Катаболізм бікарбонату в *Spirulina platensis* [41, 42]

					НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ			
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 4. БІОСИНТЕЗ ЦІЛЬОВОГО ПРОДУКТУ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Заярнюк З.В.						42	147
Перевір.	Резніченко Ю.М.					Кафедра БТМ		
Консультант								
Н. Контр.								
Затверд.	Стабніков В.П.							

Ферменти: 1 – карбоангідраза (КФ 4.2.1.1); 2 – рибулозодифосфаткарбоксілаза (КФ 4.1.1.39); 3 – 2,3-дифосфогліцератзалежна фосфогліцератмутази (КФ 5.4.2.11); 4 – енолаза (КФ 4.2.1.11); 5 – піруваткіназа (КФ 2.7.1.40); 6 – фосфогліцераткіназа (КФ 2.7.2.3); 7 – фосфогліцераткіназа (КФ 2.7.2.3); 8 – фосфогліцераткіназа (КФ 2.7.2.3).

4.2. Біотрансформація ростового субстрату у цільовий продукт

Для поповнення інтермедіатів ЦТК, які необхідні для процесів біосинтезу, в *Spirulina platensis* функціонують анаплеротичні реакції гліоксалатного циклу. Спершу ізоцитрат розкладається на сукцинат і гліоксалат під дією фермента ізоцитратліази (КФ 4.1.3.1), а потім фермент малатсинтаза (КФ 2.3.3.9) перетворює гліоксалат на малат [43].

При катаболізмі бікарбонату прямого утворення глюкозо-6-фосфату не відбувається, тому в *Spirulina platensis* при рості на даному субстраті функціонує глюконеогенез. Під час цього процесу утворюється фруктозо-6-фосфат та глюкозо-6-фосфат, які залучаються до процесів біосинтезу. Ключовим ферментом цього шляху є фосфоенолпіруваткарбоксікіназа (КФ 4.1.1.49), під дією якого оксалоацетат перетворюється на фосфоенолпіруват [43].

Для утворення біомаси клітинам *Spirulina platensis* необхідно синтезувати органічні речовини, що входять до складу цих клітин. До таких речовин належать: білки, фосфо- та гліколіпіди, нуклеїнові кислоти та полісахариди, які містяться в клітинній стінці клітин [43].

Для синтезу білків клітинам необхідні 20 амінокислот, які можна об'єднати в 4 родини. Для синтезу аспартатної родини (Аспартат, Метіонін, Треонін, Лізин, Ізолейцин, Аспаргін) клітини використовують інтермедіат ЦТК оксалоацетат. Попередником глютамотної родини (Глутамат, Глутамін, Пролін, Аргінін) є 2-оксоглутарат, який також є інтермедіатом ЦТК. Піруват та 3-фосфогліцерин є попередниками синтезу піруватної родини амінокислот (Аланін, Лейцин, Валін та Серин, Гліцин, Цистеїн). Для утворення ароматичної родини амінокислот (Гістидин, Фенілаланін, Тирозин, Триптофан) необхідні попередники еритрозо-4-фосфат та рибозо-5-фосфат, яку утворюються в пентозофосфатному циклі [43, 44].

У клітинній стінці *Spirulina platensis* міститься пептидоглікан та ліпополісахариди. Попередником пептидоглікану є фруктозо-6-фосфат, який за допомогою ферментів глутамін-фруктозо-6-фосфат трансамінази (КФ 2.6.1.16), фосфоглюкозамінмутази (КФ 5.4.2.10), глюкозамін-1 -фосфат N-ацетилтрансферази (КФ 2.3.1.157), УДФ-N-ацетилглюкозамін пірофосфорилази (КФ 2.7.7.23) перетворюється на пептидоглікан. Ліпополісахариди утворюються з УДФ-галактози та глюкозамін-6 -фосфату. УДФ-галактоза синтезується з глюкозо-6 -фосфату за допомогою ферментів фосфоглюкомутази (КФ 5.4.2.2), УТФ-глюкозо-1-фосфатуридилтрансферази (КФ 2.7.7.9), УДФ-глюкозо -4-епімерази (КФ 5.1.3.2) [43, 45].

Ліпіди прокариотів (Фосфо- та гліколіпіди) відрізняються за будовою та шляхом біосинтезу від ліпідів еукаріотів (тригліцериди). Синтез ліпідів прокариот починається з утворення 3-фосфогліцерину з діоксиацетонфосфату під дією гліцерол-3-фосфатдегідрогенази (КФ 1.1.5.3). Далі відбувається утворення ацил-3 -фосфогліцерину за допомогою гліцерол-3-фосфатацилтрансферази (КФ 2.3.1.275). Останнім спільним етапом для синтезу ліпідів прокариот є утворення діацил -3-фосфогліцерину, ця реакція активується 1-ацил -sn-гліцерол-3-фосфат-ацилтрансферазою (КФ 2.3.1.51). Гліколіпіди утворюються з діацил -3-фосфогліцерину та УДФ-глюкози, а утворенню фосфоліпід передують утворення ЦДФ-Діацилгліцерину за допомогою фосфатидатцитидилтрансферази (КФ 2.7.7.41), а далі з ЦДФ-Діацилгліцерину утворюються фосфоліпіди [43, 46].

Нуклеотиди з яких складаються нуклеїнові кислоти синтезуються двома шляхами. Синтез піримідинових нуклеотидів починається з конденсації карбамоїлфосфату та аспартату за дією ферменту аспартаткарбамоїлтрансферази (КФ 2.1.3.2) з утворенням карбамоїласпартату. Далі карбамоїласпартат перетворюється на оротат за допомогою ферменту дигідрооротази (КФ 3.5.2.3) та дигідрооротатдегідрогенази (КФ 1.3.5.2). За допомогою оротатфосфорибозилтрансферази (КФ 2.4.2.10) з оротату та 5-фосфорибозил-1-пірофосфату утворюється оротидинмонофосфат. Ця сполука перетворюється на уридинмонофосфат, який далі перетворюється на уридиндифосфат, а потім – на

уридинтрифосфат під дією уридинмонофосфатсинтетази (КФ 4.1.1.23), УМФ-ЦМФ кінази (КФ 2.7.4.14) та нуклеозиддифосфаткінази (КФ 2.7.4.6). На останньому етапі утворюється цитидинтрифосфат за допомогою ЦТФ-синтази (КФ 6.3.4.2) [47].

Синтез пуринових нуклеотидів починається з 5-фосфорибозил-1-пірофосфату, який через декілька проміжних реакцій перетворюється на імідазольний нуклеотид. Цей нуклеотид перетворюється на інозинмонофосфат. Декілька додаткових реакцій перетворюють інозинмонофосфат на гуанозинмонофосфат або на аденозинмонофосфат. Далі аденозинмонофосфат перетворюється на аденозиндифосфат, а потім на аденозинтрифосфат за допомогою ферментів аденілаткінази (КФ 2.7.4.3) та нуклеозиддифосфаткінази (КФ 2.7.4.6). Далі перетворення гуанозинмонофосфату відбувається наступним чином: спершу перетворення на гуанозиндифосфат за допомогою ферменту гуанілаткінази (КФ 2.7.4.8), а потім перетворення на гуанозинтрифосфат за допомогою ферменту нуклеозиддифосфаткінази (КФ 2.7.4.6) [48].

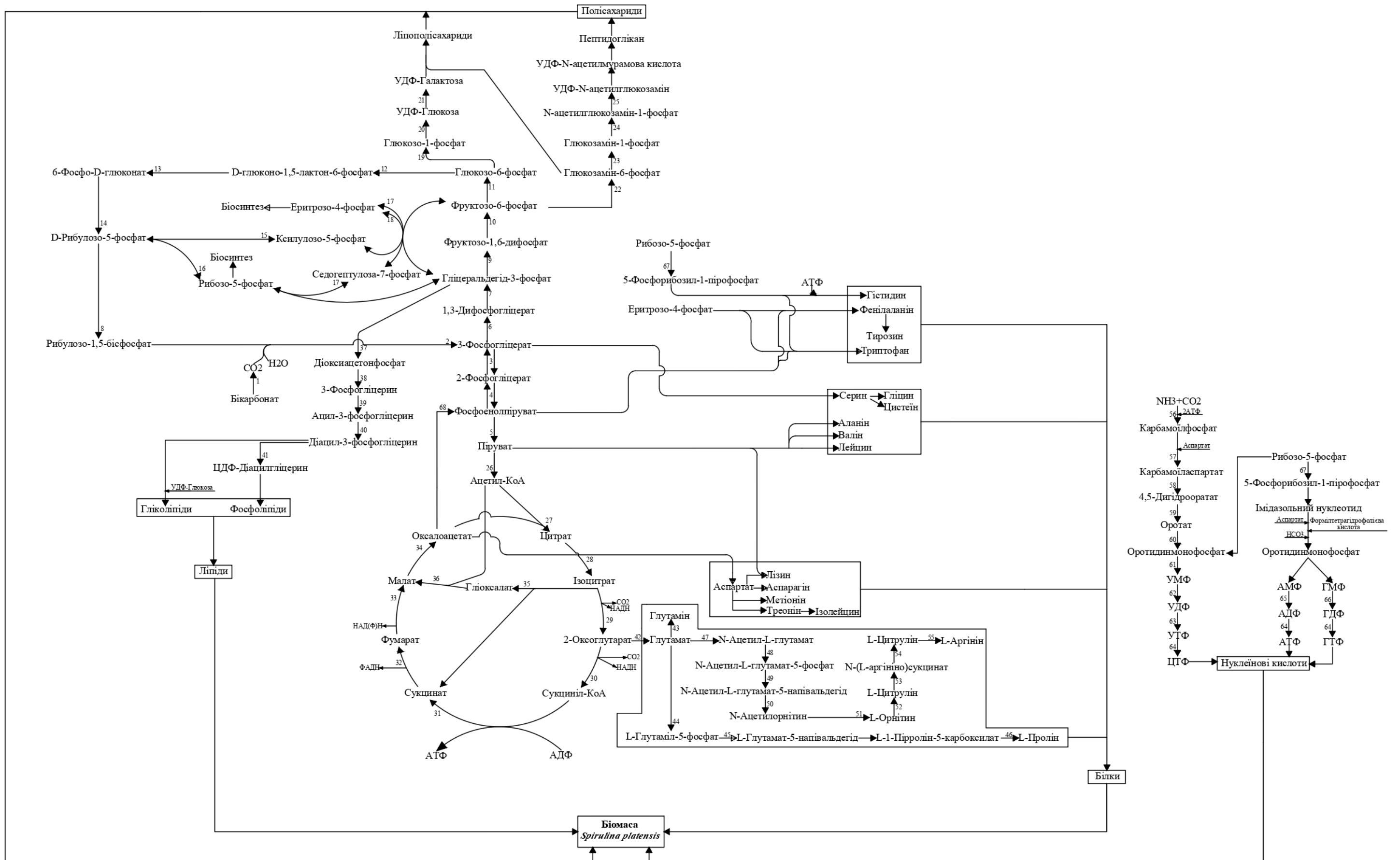


Рис.4.2 Схема біотрансформації ростового субстрату у кінцевий продукт

Ферменти: 1 – карбоангідраза (КФ 4.2.1.1); 2 – рибулозодифосфаткарбоксілаза (КФ 4.1.1.39); 3 – 2,3-дифосфогліцератзалежна фосфогліцератмутази (КФ 5.4.2.11); 4 – енолаза

(КФ 4.2.1.11); 5 – піруваткіназа (КФ 2.7.1.40); 6 – фосфогліцераткіназа (КФ 2.7.2.3); 7 – фосфогліцераткіназа (КФ 2.7.2.3); 8 – фосфогліцераткіназа (КФ 2.7.2.3);

9 – фруктозодифосфатальдолаза, клас II (КФ 4.1.2.13); 10 – фруктозо-1,6-бісфосфатаза I (КФ 3.1.3.11); 11 – глюкозо-6-фосфатізомераза (КФ 5.3.1.9); 12 – глюкозо-6-фосфат-1-дегідрогеназа (КФ 1.1.1.49); 13 – 6-Фосфоглюконолактоназа (КФ 3.1.1.31); 14 – 6-Фосфоглюконатдегідрогеназа (КФ 1.1.1.44); 15 – рибулозо-фосфат 3-епімераза (КФ 5.1.3.1); 16 – рибозо-5-фосфат-ізомераза A (КФ 5.3.1.6); 17 – Транскетолаза (КФ 2.2.1.1); 18 – Трансальдолаза (КФ 2.2.1.2); 19 – Фосфоглюкомутаза (КФ 5.4.2.2); 20 – УТФ-глюкозо-1-фосфатуридилтрансфераза (КФ 2.7.7.9); 21 – УДФ-глюкозо-4-епімераза (КФ 5.1.3.2); 22 – трансаміназа (КФ 2.6.1.16); 23 – фосфоглюкозамінмутаза (КФ 5.4.2.10); 24 – глюкозамін-1-фосфат N-ацетилтрансфераза (КФ 2.3.1.157); 25 – УДФ-N-ацетилглюкозамінпірофосфорилаза (КФ 2.7.7.23); 26 – Піруватдегідрогеназа (КФ 1.2.4.1), 27 – Цитратсинтетаза (КФ 2.3.3.1); 28 – Аконітатгідратаза (КФ 4.2.1.3); 29 – Ізоцитратдегідрогеназа (КФ 1.1.1.42), 30 – 2-оксоглутаратдегідрогеназа (КФ 1.2.4.2); 31 – Сукцинаттіокіназа (КФ 6.2.1.5),

32 – Сукцинатдегідрогеназа (КФ 1.3.5.1); 33 – Фумаратгідратаза (КФ 4.2.1.2); 34 – Малатдегідрогеназа (КФ 1.1.1.37); 35 – Малатсинтаза (КФ 2.3.3.9); 36 – Ізоцитратліаза (КФ 4.1.3.1);

37 – Ізоцитратліаза (КФ 4.1.3.1); 38 – гліцерол-3-фосфатдегідрогеназа (КФ 1.1.5.3); 39 – гліцерол-3-фосфатацилтрансферази (КФ 2.3.1.275); 40 – 1-ацил-sn-гліцерол-3-фосфат-ацилтрансферазою (КФ 2.3.1.51); 41 – фосфатидатцитидилтрансферази (КФ 2.7.7.41); 42 – аспаратамінотрансфераза (КФ 2.6.1.1); 43 – глутамінсинтетаза (КФ 6.3.1.2); 44 – глутамат-5-кіназа (КФ 2.7.2.11); 45 – глутамат-5-напівальдегіддегідрогеназа (КФ 1.2.1.41); 46 – піролін-5-карбоксілатредуктаза (КФ 1.5.1.2); 47 – глутамат-N-ацетилтрансфераза (КФ 2.3.1.35);

48 – N-ацетил-гамма-глутаміл-фосфат-редуктаза (КФ 1.2.1.38); 49 –

ацетилглутаматкіназа (КФ 2.7.2.8); 50 – N-ацетилорнітин -амінотрансфераза (КФ 2.6.1.11); 51 – N-ацетилорнітин-амінотрансфераза (КФ 2.6.1.11); 52 – глутамат-N-ацетилтрансфераза (КФ 2.3.1.35); 53 – орнітинкарбамоїлтрансфераза (КФ 2.1.3.3); 54 – аргініносукцинатсинтаза (КФ 6.3.4.5);

55 – аргініносукцинатліаза (КФ 4.3.2.1); 56 – Карбамоїлфосфатсинтетаза (КФ 6.3.4.16); 57 – аспартаткарбамоїлтрансфераза (КФ 2.1.3.2); 58 – дигідрооротаза (КФ 3.5.2.3);

59 – дигідрооротатдегідрогенази (КФ 1.3.5.2); 60 – оротатфосфорибозилтрансфераза (КФ 2.4.2.10); 61 – уридинмонофосфатсинтетаза (КФ 4.1.1.23); 62 – УМФ-ЦМФ кіназа (КФ 2.7.4.14); 63 – нуклеозиддифосфаткіназа (КФ 2.7.4.6); 64 – ЦТФ -синтаза (КФ 6.3.4.2); 65 – аденілаткіназа (КФ 2.7.4.3); 66 – гуанілаткіназа (КФ 2.7.4.8); 67 – рибозо-фосфат-пірофосфокіназа (КФ 2.7.6.1); 68 – фосфоенолпіруваткарбоксихіназа (КФ 4.1.1.49)

РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

5.1. Обґрунтування способу культивування і типу ферментера

5.1.1. Вибір умов і способу культивування

Культивування є основною стадією біотехнологічного процесу, тому що саме на ній відбувається взаємодія продуцента із субстратом та утворення цільових продуктів. Ця стадія здійснюється в фотобіореакторі (ферментері) та проводиться залежно від особливостей використовуваного продуцента й вимог до типу і якості кінцевого продукту. Тому для вибору умов процесу культивування необхідно врахувати специфіку досліджуваних продуцентів: їх морфолого-культуральні та фізіолого-біохімічні ознаки [49].

Розрізняють такі способи культивування:

- по відношенню мікроорганізмів продуцентів до кисню: аеробне та анаеробне;
- з локалізації продуцентів у поживному середовищі: глибинне і поверхневе;
- за умовами проведення процесу: періодичне, напівбезперервне (від'ємно - доливне, з підживленням); безперервне [49].

З літератури відомо, що обраний біологічний агент *Spirulina platensis*, який належить до мікродоростей, має високу стійкість до екстремальних умов культивування: широкий діапазон температур від 10°C до 37°C і рН 8-11,5. Температура середовища безпосередньо впливає на швидкість росту спіруліни. Помітний ріст спіруліни починається при температурі вище 20 °C і досягає максимуму при 35-37 °C. Різкі перепади температури знижують продуктивність спіруліни [6].

Наведені вище характеристики потрібно враховувати при підборі умов культивування, такі як: умови культивування, температура і рН, швидкість перемішування тощо [50].

					НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ			
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Заярнюк З.В.			РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Резніченко Ю.М.					49	147
Консультант						Кафедра БТМ		
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.						

Одержання біомаси спіруліни в контрольованих умовах є економічно вигідним, якщо правильно підходити до справи. Однак в Україні розроблення та впровадження високоефективних технологій масового вирощування цієї культури ще не набули достатнього поширення. При організації промислового мікробіологічного виробництва велика увага приділяється вибору методу культивування [51].

Промислове культивування спіруліни відбувається переважно у відкритих і закритих системах. З назв зрозуміло, що відкритою є система в яку надходять компоненти і вилучаються з неї. Необмежений у часі експоненційний ріст культури мікроводоростей можливий лише у випадку постійного додавання всіх необхідних для росту компонентів (поживні речовини, аерація, світло, тощо) та видалення продуктів життєдіяльності, система є відкритою, а культура називається безперервною [6].

Безперервне культивування мікроорганізмів – вирощування мікроорганізмів в динамічних умовах (в постійно оновлюваному поживному середовищі), яке проводять в спеціальних біореакторах – хемостатах або турбідостатах, які забезпечені пристроями для підтримки температури і рН на постійному рівні, а також для автоматичної подачі свіжого поживного середовища і видалення культуральної рідини з продуктами метаболізму. Мікробна популяція тим самим підтримує необхідний час в експоненційній фазі росту [49].

За умов періодичного культивування поживне середовище містить обмежену початкову кількість поживних речовин, мікроводорості ростуть, як правило, доки вміст якогось необхідного їм компонента не досягне критичної величини, після чого ріст сповільнюється і в подальшому призупиняється [51].

Тому, зважаючи на те, що при отриманні біомаси за допомогою культивування *Spirulina platensis* потрібна стала кількість мікроелементів, концентрація яких є критичним фактором при культивуванні цільового продукту, тому слід використовувати періодичне культивування, оскільки при безперервному культивуванні неможливо контролювати вміст мікроелементів [6].

Отже, культивування продуцента здійснюється періодично глибинним способом в анаеробних умовах, без регуляції рН, із забезпеченням сталості технологічного процесу.

5.1.2. Вибір типу ферментера

Для культивування мікроводоростей використовують фотобіореактори – апарати, в яких здійснюють культивування фотосинтезуючих мікроорганізмів, при використанні сонячної енергії [51]. Це закриті або відкриті контейнери, які піддаються впливу сонячного або штучного освітлення, деякі з них мають можливість регуляції температури середовища та подачі газів (CO₂). Можна виділити наступні типи фотобіореакторів:

- відкрита система ставків або дрібних басейнів – це найпростіша форма, що дозволяє забезпечити великий об'єм біореактора при низьких капіталовкладеннях, проте така конструкція представляє ризик забруднення культури мікроводоростей або її перехресного зараження;

- плоскі – біореактори виготовляють із скла та прозорого полікарбонату у вигляді закритих ємностей прямокутної форми;

- проточні – це трубчасті системи прозорих ємностей (труб), усередині яких циркулює поживне середовище (азот, фосфор, калій, мікроелементи) з мікроводоростями. Пройшовши весь шлях по прозорих трубах, суспензія мікроводоростей надходить у спеціальний накопичувальний резервуар, де отримує чергову порцію CO₂, який в ході подальшого руху рівномірно розподіляється по всій біомасі. Труби можуть бути виготовлені зі скла, полікарбонату або поліетилену [51, 52].

В промислових умовах культивування мікроводоростей проводять за допомогою фотобіореакторів закритого типу, які були створені на протипагу відкритим ємностям або ставкам, в яких переважно культивують мікроводорості в промислових умовах, часто навіть без додаткової аерації і перемішування. За таких умов вихід цільового продукту в декілька разів нижчий, ніж при інтенсивному культивуванні в

контрольованих умовах фотобіореактора [52].

Конструктивно фотобіореактори є досить складними інженерними системами. Забезпечення оптимальних умов для росту мікрободоростей вимагає постійного контролю і підтримання на певному рівні цілого ряду параметрів: температурний режим, рН, окисно-відновний потенціал середовища, концентрація CO₂, швидкість руху рідини, інтенсивність перемішування [52].

Проаналізувавши конструкції основних типів фотобіореакторів, слід відмітити, що вони виконують функції контролю та вимірювання температури, кислотності, освітленості, а також концентрації розчинених у воді солей та газів. Окрім того, фотобіореактор повинен забезпечувати можливість інтенсивного перемішування культури. Як правило, перемішування відбувається за рахунок використання мішалок, циркуляційних насосів або інтенсивному потоку газо-повітряної суміші. Прилипання до стінок усувається за допомогою використання ультразвуку або інтенсивності перемішування [40, 52]. Освітлення установок можливе природним сонячним світлом, лампами денного світла або потужними прожекторами. Для реалізації максимальної швидкості росту потрібно забезпечити тонкий освітлювальний шар клітин, що досягається інтенсивним перемішуванням, яке здійснюється через перфоровані трубки барботажем (повітрям, збагаченим вуглекислотою), відцентровими насосами або мішалками лопатевого типу. Даний спосіб перемішування з барботажем додатково допомагає усунути прилипання клітин до стінок, за рахунок того, що суспензія клітин постійно освітлюється і не перебуває в одному місці, а як наслідок, підвищується швидкість масообмінних процесів у реакторі [51, 52].

Конструкція фотобіореактора повинна виконувати функції вимірювання та контролю температури (підтримка за допомогою теплообміну між поживним середовищем та підведеним теплоносієм), освітленості (штучної та зовнішньої), концентрації кислотності середовища (рівень рН, що регулюється шляхом уведення відповідної кількості CO₂ або солей із слабкою кислотною основою додаткової води) [51].

При вирощуванні мікроводоростей фотобіореактор повинен підтримувати біологічну чистоту культури та запобігати потраплянню в нього бактерій та інших мікроводоростей і за потреби пригнічувати їх. Як правило, для знищення розвитку бактерій використовують ультрафіолетове освітлення середньої довжини хвилі або антибіотики.

Для забезпечення викладених вище вимог слід використовувати фотобіореактори проточного типу, який зображений на рис. 5.1.

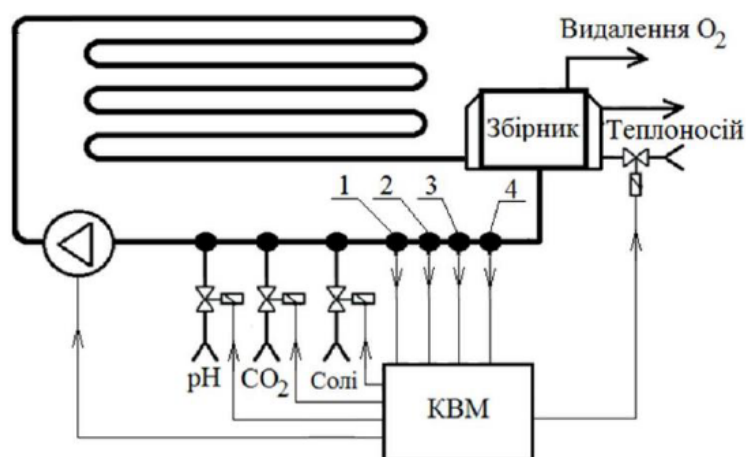
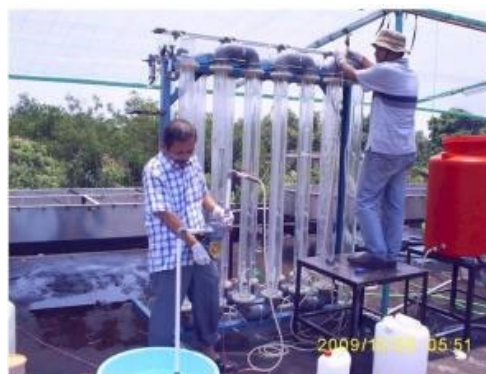


Рис. 5.1. Схема фотобіореактора проточного типу

Трубчасті фотобіореактори проточного типу обираються залежно від різних факторів: кліматичні умови, фізіолого-біохімічні ознаки продуцента тощо, тому монтаж даного апарата буде проводитись по місцю розташування виробництва, конструкція такого фотобіореактора зображена на рис 5.2.

При проектуванні промислового фотобіореактора за умов сонячного освітлення до уваги беруть такі технічні й біологічні умови: на початку і наприкінці світлового дня інтенсивність сонячної радіації різко падає, причому висота сонця над горизонтом у цей час мінімальна і освітленість горизонтальної поверхні значно менша, ніж вертикальної. Тому наявність у ФБР вертикально розташованої поверхні може значно збільшити продуктивність культиватора за рахунок більш ефективного використання світлової енергії сонця в ранкові та вечірні години [52].



Gambar 2. Sterilisasi dan Uji Kebocoran Fotobioreaktor yang dilakukan sebelum tahap operasional

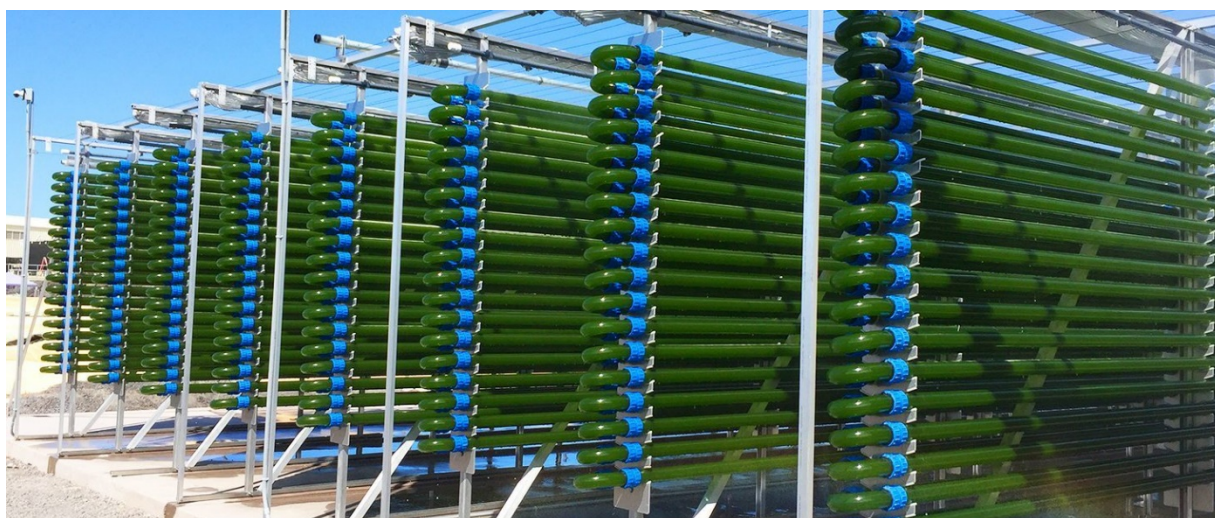


Рис. 5.2. Монтаж та установлений фотобіореактор проточного типу.

Перевагою даної конструкції фотобіореактора є простота конструкції та можливості збільшення об'ємів реактора до 20000 л, можливість швидкого пересування установки, а також автоматизація введення процесу культивування [52].

Даний фотобіореактор виготовлений з органічного скла на основі поліметилметакрилату та має наступні геометричні параметри: довжина трубки дорівнює 2 м, діаметр трубок становить 0,1м, трубки розташовані в декілька рівнів, в залежності від потрібного об'єму [52].

Для виробничого культивування, інокулянт вноситься в апарат тоді, коли температура робочої області досягає необхідного значення, потім вмикається циркуляційний насос для прокачування культуральної рідини по трубах реактора, та вимикають тільки після досягнення необхідної концентрації суспензії [51].

5.2. Обґрунтування вибору стадії підготовки аераційного повітря

Так як *Spirulina platensis* є фотосинтезуючою ціанобактерією - необхідною умовою фотосинтезу є наявність води, світла та вуглекислого газу. На відміну від наземних рослин, яким доступна лише атмосферна сполука CO_2 , водорості можуть використовувати H_2CO_3 (вуглецеву кислоту) та її іони – бікарбонат (HCO_3^-) і карбонат (CO_3^{2-}). Це залежить від показника рН, солоності води, парціального тиску CO_2 в атмосфері і температури середовища. У кислих розчинах домінує оксид вуглецю (CO_2), але його вплив різко зменшується при значенні рН 7-9, коли домінує бікарбонат (HCO_3^-), а в більш лужному середовищі важливу роль починає відігравати аніон CO_3^{2-} . Так як середовище Зарукка з рН 8 містить в своєму складі NaHCO_3 16,8 г/л, тому культивування біомаси *Spirulina platensis* проводять в анаеробних умовах так як при високих значеннях рН та аерації за рахунок бульбашок повітря порушується масообмін між клітиною та карбонат іонами і майже 40 % карбонатів втрачається [53].

Тому потреба підготовки аераційного повітря відсутня. Для забезпечення масообмінних процесів культуральну рідину в середині фотобіореактора перекачують відцентровим насосом.

5.3. Вибір миючих та дезінфікуючих засобів

Виробництво спіруліни здійснюється упродовж 210 днів. Оскільки культивування *Spirulina platensis* здійснюється у фотобіореакторі 10 м³, тому враховуючи особливості проведення біосинтезу – конструкція біореактора, стала температура проведення процесу (30°C), постійне освітлення, біореактори розміщують у теплиці (промисловій оранжереї). Дана оранжерея, являє собою будівлю зі штучним кліматом та оптимальними умовами освітлення, які необхідні для підвищення росту водоростей. Режим освітлення забезпечується додатковим освітленням з використанням ламп зі спектром, наближеним до сонячного (так звані «фітоламп»). Оранжереї зазвичай будують з прозорого скла. Поверхні стін виконані зі скла, тому процес миття пройде без ускладнення, підлога повинна бути виконана з матеріалів світлих тонів, що легко миються, або пофарбована водовідштовхувальними фарбами [54].

Для розрахунку кількості миючих засобів, які необхідні для виробництва, необхідно спланувати розміщення обладнання у приміщеннях.

Виробництво біомаси *Spirulina platensis* передбачає підготовку наступного обладнання: фотобіореактори об'ємом 8 л, 50 л, 300 л, 1.8 м³, 10 м³, реактори-змішувачі для приготування розчину макроелементів об'ємом 10 л, 50 л, 500 л, 2 м³, 10 м³, один реактор-змішувач для приготування розчину мікроелементів об'ємом 10 л, а також бокс та лабораторне устаткування (термостат, холодильник, автоклав, апаратура для проведення різних видів контролю).

Так як фотобіореактор має свою особливу будову і виготовляється під замовлення необхідно приблизно прорахувати його габарити.

Фотобіореактор на 10 м³:

Діаметр труб у фотобіореакторах може значно варіюватись, але оптимальним рішенням є використання скляних труб з діаметром 0,1 м або 10 см [55].

Довжина всіх труб у фотобіореакторі за формулою становить [56]:

$$V = \pi \times l \times d^2 / 4, \text{ тоді}$$
$$l = 10 \times 4 / 3.14 \times 0.1^2 = 1274 \text{ м}$$

Ці труби розміщуються навколо стелажів, щоб зменшити кількість з'єднань між стелажими, які знаходяться поза межами освітлювальних ламп. Освітлювальні лампи вмикаються при поганій погоді. Тому стелажі доцільно розміщувати у 2 ряди (рис.5.3). Тоді на одному стелажі буде розміщуватись 637 м труб.

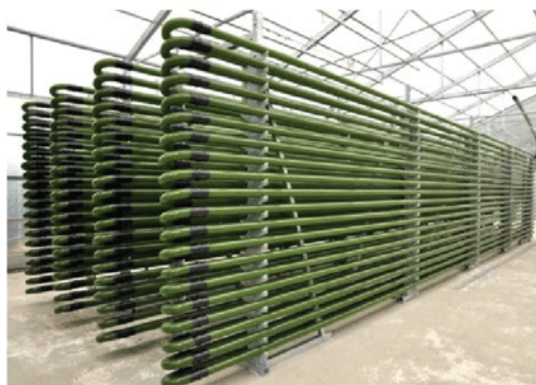


Рис. 5.3 Приблизний вигляд використаного фотобіореактора

Далі необхідно визначити скільки витків труб у висоту влізуть на один стелаж. Труби необхідно розміщувати на відстані в 20 сантиметрів від землі, щоб на них

краще потрапляло сонячне світло. Відстань між трубами буде мінімальною, а саме 10 см. Стелажі доцільно робити висотою до 2,5 м, де їх легко буде помити. Тоді виходить, що на 1 стелажі поміщується по 12 витків труб.

Тоді виходить, що довжина стелажа буде становити:

$$637 / 12 \times 2 = 26,5 \text{ м}$$

До комплектації фотобіореактора входить блок керування та реактор з мішалкою. Діаметр реактора становить 2,4 м а висота 3,5 м. На блок керування та насос, який буде підтримувати циркуляцію культуральної рідини, розмітимо квадратну зону $2,4 \times 2,4 \text{ м}^2$. Відстань між стелажимами буде становити 1 м для зручності проходу між ними та експлуатації. Тоді виходить, що габаритні розміри фотобіореактора будуть $29 \times 4,8 \times 3,5 \text{ м}^3$.

Фотобіореактор на $1,8 \text{ м}^3$:

Довжина всіх труб у фотобіореакторі становить:

$$l = 1,8 \times 4 / 3.14 \times 0.1^2 = 229,3 \text{ м}$$

Тоді на одному стелажі буде розмішуватись 114,7 м труб. При умові, що на стелажі розміщується 12 витків труб. Тоді довжина стелажа буде

$$114,7 / 12 \times 2 = 4,8 \text{ м}$$

До комплектації фотобіореактора входить блок керування та реактор з мішалкою. Діаметр реактора становить 1,6 м а висота 3,2 м. На блок керування та насос, який буде підтримувати циркуляцію культуральної рідини, розмітимо квадратну зону $1,6 \times 1,6 \text{ м}^2$. Відстань між стелажимами буде становити 1 м для зручності проходу між ними та експлуатації. Тоді виходить, що габаритні розміри фотобіореактора будуть $6,4 \times 3,6 \times 3,2 \text{ м}^3$.

Фотобіореактор на $0,3 \text{ м}^3$:

Довжина всіх труб у фотобіореакторі становить:

$$l = 0,3 \times 4 / 3.14 \times 0.1^2 = 38,2 \text{ м}$$

Даний фотобіореактор має маленькі розміри тому доцільно розміщувати всі витки труб на 1 стелажі.

При умові, що на стелажі розміщується 12 витків труб. Тоді довжина стелажа буде

$$38,2 / 12 \times 2 = 1,59 \text{ м}$$

До комплектації фотобіореактора входить блок керування та реактор з мішалкою. Довжина реактора становить 0,965 м, а ширина 1,19 м і висота 2,06 м. На блок керування та насос, який буде підтримувати циркуляцію культуральної рідини, розмітимо квадратну зону $1 \times 1 \text{ м}^2$. Тоді виходить, що габаритні розміри фотобіореактора будуть $2,6 \times 2 \times 2,06 \text{ м}^3$.

Інші фотобіореактори матимуть набагато менші розміри тому умовно приймем, що вони займатимуть $1,5 \times 1,5 \times 2 \text{ м}^3$ та $1 \times 1 \times 1,5 \text{ м}^3$.

Габаритні розміри основного обладнання наведено у табл. 2.1.

Таблиця 5.1

Габарити обладнання для виробництва біомаси *Spirulina platensis*

Обладнання	Геометричний об'єм, м ³ (л)	Габарити, м ³
Фотобіореактор	8 л	$1 \times 1 \times 1,5$
Фотобіореактор	50 л	$1,5 \times 1,5 \times 2$
Фотобіореактор	300 л	$2,6 \times 2 \times 2,5$
Фотобіореактор	1.8	$6,4 \times 3,6 \times 3,2$
Фотобіореактор	10	$29 \times 4,8 \times 3,5$
Реактор-змішувач	10 л	$0,67 \times 0,65 \times 1,92$
Реактор -змішувач	10 л	$0,67 \times 0,65 \times 1,92$
Реактор-змішувач	50 л	$0,58 \times 0,58 \times 2,1$
Реактор-змішувач	300 л	$0,965 \times 1,19 \times 2,06$
Реактор-змішувач	2	$1,6 \times 1,6 \times 3,2$
Реактор-змішувач	10	$2,4 \times 2,4 \times 3,5$

Виробництво включає наступні приміщення: цех виробничого біосинтезу, цех підготовки посівного матеріалу, лабораторне приміщення для проведення різноманітних операцій, де знаходяться автоклави, мікробіологічний бокс, термостати, холодильники, апаратура для проведення різних видів контролю.

На (рис. 5.4) наведено приблизний план приміщення для біосинтезу *Spirulina platensis*. Устаткування слід розташовувати так, щоб до нього був забезпечений вільний доступ для прибирання окремих ділянок.

План враховує габарити обладнання та відстань між апаратами (не менше 1 м) і від стін (не менше 1,5 м).

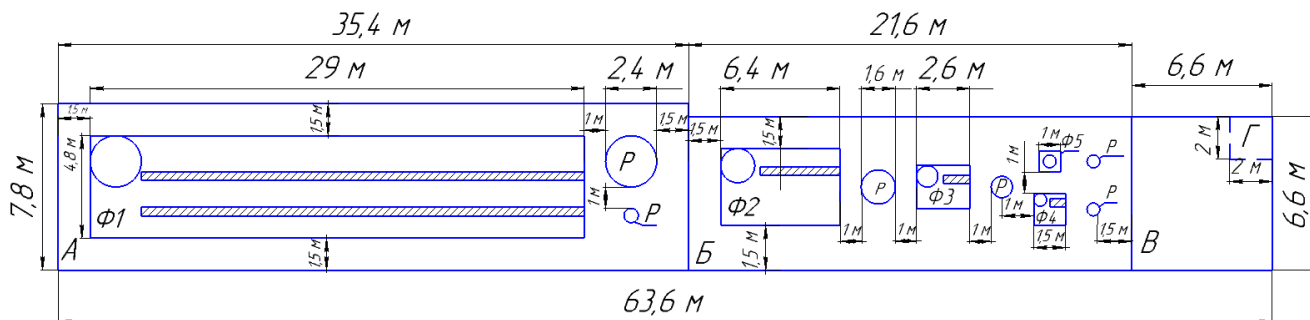


Рис. 5.4 Схематичний план виробничого приміщення для виробництва біомаси *Spirulina platensis*

А – цех виробничого біосинтезу, Б - цех підготовки посівного матеріалу, В – лабораторія, Г – бокс.

Площа цеху виробничого біосинтезу (А) в якому встановлено фотобіореактор на 10 м³ та реактор змішувач на 10 м³ становить:

$$S=(1,5+29+1+2,4+1,5)\times(1,5+4,8+1,5)=35,4\times 7,8=276,12 \text{ м}^2$$

Площа цеху підготовки посівного матеріалу (Б) в якому встановлено фотобіореактори об'ємом 1,8 м³, 300 л, 50 л, 8 л та реактори-змішувачі об'ємом 2 м³, 300 л, 50 л, 10 л становить:

$$S=21,6\times 6,6=142,56 \text{ м}^2$$

Площа лабораторії (В) в якій розміщений мікробіологічний бокс (Г) з площею 2×2 м² становить 43,56 м².

Необхідно провести розрахунок площі стін для миття.

Висота стін оранжереї становить 5 м, а оброблення стін мийним засобом проводитиметься на висоті 2,5 м. З цього слідує, що загальна площа стін становить $((7,8\times 2)+(6,6\times 4)+(35,4\times 2)+(28,2\times 2)+(2\times 4))\times 2,5= 443 \text{ м}^2$.

Таким чином, загальна площа виробничого приміщення що миється становить 462,24 м². Висота стін, що миється – 2,5 м. Загальна площа стін що миються – 443 м². Площа підлоги – 462,24 м².

Узагальнені дані щодо площі приміщень наведено у табл. 5.2.

**Розрахунок загальної площі приміщень для виробництва біомаси
*Spirulina platensis***

Приміщення	Обладнання	Площа приміщення, м²	Площа стін, м²
Цех виробничого біосинтезу	Фотобіореактор на 10 м ³ , реактор змішувач на 10 м ³ , реактор змішувач на 10 л	276,12	216
Цех підготовки посівного матеріалу	Фотобіореактори об'ємом 1,8 м ³ , 300 л, 50 л, 8 л. Реактори-змішувачі об'ємом 2 м ³ , 300 л, 50 л, 10 л	142,56	141
Лабораторія	Автоклави, мікробіологічний бокс (Г), термостати, холодильники, апаратура для проведення контролю, хімічний посуд	43,56	86
Всього		462,24	443

Далі, на основі наведених вище даних, необхідно провести розрахунок кількості мийних та дезінфікуючих засобів для миття приміщень та обладнання.

Для того, щоб обрати мийний та/або дезінфікуючий засіб, необхідно знати сумарну площу що обробляється, концентрацію робочого розчину та його витрати на оброблювання потрібної площі виробничого приміщення. Окрім цього слід звернути увагу на ефективність використання і на саму вартість цих засобів.

Приблизно на 1 м² витрачається 100 мл робочого розчину мийного чи дезінфікуючого засобу (згідно з методичними рекомендаціями щодо підготовки виробничих приміщень, наказ МОЗ України від 14.12.2001 №502).

Обладнання та комунікації потрібно мити перед кожним виробничим циклом, тобто 7 разів; підлога миється кожного робочого дня, тобто 210 разів; а стіни, вікна та двері – раз на місяць в якості генеральних прибирань. Кількість генеральних прибирань становитиме 7 разів.

Загальна площа оброблюваних об'єктів за весь період виробництва вказана у табл. 5.3.

Розрахунок загальної площі миття та/або дезінфекції за весь період виробництва біомаси спіруліни

Об'єкт миття та /або дезінфекції	Площа (об'єм) оброблюваного об'єкту, м² (л)	Кількість процесів миття та/або дезінфекції за весь період виробництва	Загальна площа (об'єм) оброблюваного об'єкту за весь період виробництва, м² (л)
Обладнання, інвентар, комунікації	23 718	7	166 026
Підлога	462,24	210	97 070,4
Стіни, двері, вікна	443	7	3 101

Звідси сумарна площа приміщення, що обробляється дез.розчинами становить:

$$\sum F = 97\,070,4 + 3\,101 = 100\,171,4 \text{ м}^2$$

Сумарний об'єм обладнання що обробляється дез.розчинами становить:

$$\sum F = 166\,026 \text{ л}$$

Рекомендується чергувати дезінфікуючі та антисептичні засоби кожні 1–3 місяці з метою запобігання розвитку та розповсюдженню стійких варіантів мікроорганізмів [57].

Миючі та дезінфікуючі засоби слід контролювати на мікробіологічну чистоту. Їх розчини потрібно зберігати у попередньо очищеній тарі та суворо дотримуватись строків зберігання.

Дезінфікуючі засоби мають відповідати таким вимогам: володіти бактерицидною дією, бути хімічно стійкими та не ушкоджувати поверхні обладнання.

До мийних засобів висуваються інші вимоги: повинні виявляти високу мийну здатність, забезпечувати повне змочування поверхонь різних конструкційних матеріалів, пом'якшувати жорсткість води, забезпечувати повне видалення механічного, білкового та жирового забруднень шляхом їх диспергування та емульгування, забезпечувати омилення жирів (для лужних мийних засобів), нейтралізувати кислі забруднення та виявляти низьку агресивність щодо

конструкційних матеріалів, які використовують для виготовлення технологічного обладнання, комунікацій, інвентарю [58].

Миття ємнісного обладнання проводиться методами циркуляції робочого розчину в системі Clean in place (CIP – мийка), заповнення резервуара (біореактора) робочим розчином засобу складатиме близько половини з відповідним об'ємом обладнання [57].

Дезінфекцію зовнішніх поверхонь проводять шляхом нанесенням або розпилення робочого розчину дезінфікуючого засобу на поверхню обладнання. Тривалість контакту дезінфікуючого засобу з поверхнею повинна складати не менше 20 хв. Після закінчення обробки залишки засобу змивають і промивають устаткування водою.

Як мийні засоби використовують лужні (кальцинована сода, каустична сода) та кислотні (азотна, фосфорна, соляна, оцтова, сульфамінова кислоти) мийні засоби, а також мийні засоби на основі синтетичних поверхнево – активних речовин (синтетичні порошки типу А, Б, В ТЕА–АБСК) і мийні засоби з протеолітичними ферментами [57].

Ефективність миючих засобів визначає низка фізикохімічних властивостей. В залежності від вимог до засобу це може бути: стабільність, емульгуюча здатність, змочуваність, піноутворення та ін [59].

Проаналізувавши вітчизняний ринок миючих та дезінфікуючих засобів в державному реєстрі, слід звернути увагу на ефективні, порівняно дешеві та найбільш вживані, серед таких засобів слід виділити каустичну соду, «Фамідез Санокварт », «Гембар», «Гуасепт», «Дезефект» та «Дезактін».

Мийні та дезінфікуючі засоби для обробки поверхонь приміщень та обладнання

«Фамідез Санокварт» - рідкий концентрат з високою миючою здатністю для дезінфекції та чистки поверхонь та обладнання на основі сучасних четвертинних амонієвих сполук. Має низьке піноутворення, хороші мийні властивості, працює у воді будь-якої твердості. Використовується для безпінного миття та дезінфекції танків, цистерн, трубопроводів, нагрівачів, сепараторів, ін'єкторів, сирних форм,

стерилізаторів, доїльних установок, резервуарів, фільтрів та іншого технологічного обладнання на підприємствах. Робоча концентрація становить 1 % [60].

"Фамідез® Санокварт" за параметрами гострої токсичності при введенні в шлунок та нанесенні на шкіру належить до мало небезпечних речовин (4 клас небезпеки відповідно до вимог ГОСТ 12.1.007). У нативній формі та у вигляді концентрованих розчинів подразнює слизову оболонку очей. Не виявляє сенсibiliзуючих, мутагенних та канцерогенних властивостей.

Приготування розчину: для приготування 1 л робочого розчину концентрацією 1 % необхідно розвести 10 мл Фамідезу в 990 мл води [61].

Вартість обробки за цикл:

$V = \sum F \times D_{\text{дз}} \times V_{\text{дз}}$, Грн, де $\sum F$ – сумарна площа, що обробляється дез.розчинами; м^2 ; $D_{\text{дз}}$ – витрати дез.розчину на 1 м^2 поверхні, л/ м^2 ; $V_{\text{дз}}$ – вартість 1 л дез.розчину, Грн/л.

$$V = 166\,026 \times 0,1 \times 3,37 = 55\,951 \text{ грн}$$

Каустична сода (їдкий натр, NaOH) являє собою безбарвну кристалічну речовину. Гігроскопічна, добре розчиняється у воді. Водні розчини мають лужну реакцію. Гарячі розчини каустичної соди добре обмилюють жири, гідролізують білки, розщеплюють вуглеводи. При зменшенні температури розчину мийні властивості засобу падають. Розчини каустичної соди кородують об'єкти, які виготовлені з алюмінію. Засіб належить до високонебезпечних речовин (2 клас небезпеки по ГОСТ 12.1.007). При попаданні на шкіру викликає хімічний опік. Подразнює слизову оболонку очей та верхніх дихальних шляхів [62].

Приготування розчину: для приготування 1 л робочого розчину концентрацією 1 % необхідно розвести 10 г соди в 990 мл води.

Вартість обробки за цикл:

$V = \sum F \times D_{\text{дз}} \times V_{\text{дз}}$, Грн, де $\sum F$ – сумарна площа, що обробляється дез.розчинами; м^2 ; $D_{\text{дз}}$ – витрати дез.розчину на 1 м^2 поверхні, л/ м^2 ; $V_{\text{дз}}$ – вартість 1 л дез.розчину, Грн/л.

$$V = 166\,026 \times 0,1 \times 0,51 = 8\,467,3 \text{ грн}$$

«Дезактін» – засіб, що використовується для очищення і дезінфекції та

одночасного миття твердих поверхонь приміщень, предметів та обладнання і комунікацій. Він являє собою порошок від білого до жовтуватого кольору з помірним запахом хлору. Розчинність у воді становить не менше 20 мг/дм³.

Водні розчини прозорі, безбарвні, мають слабкий запах хлору. Робочі розчини засобу не пошкоджують об'єкти, які виготовлені із металу, скла, гуми, полімерних матеріалів, дерева, кахлю, порцеляни і устаткування з лакофарбовим, гальванічним та полімерним покриттям, не фіксують білкові забруднення на поверхні обладнання, добре змиваються, не залишають нальоту. Дезінфекцію можна проводити методами зрошення або протирання. Норма витрати 100 мл робочого розчину на 1 м² оброблюваної площі. Використовується для дезінфекції та одночасного очищення і миття при бактеріальних і вірусних інфекціях в 0,1 -0,2% концентраціях при експозиції 60 хвилин [63].

Приготування розчину: для приготування розчину 0,5% Дезактіну для дезінфекції потрібно розвести в 10 л води 50 г Дезактіну. [64].

Вартість обробки за цикл:

$V = \sum F \times D_{\text{дз}} \times V_{\text{дз}}$, Грн, де $\sum F$ – сумарна площа, що обробляється дез.розчинами; м²; $D_{\text{дз}}$ – витрати дез.розчину на 1 м² поверхні, л/м²; $V_{\text{дз}}$ – вартість 1 л дез.розчину, Грн /л.

$$V = 166\,026 \times 0,1 \times 1,99 = 33\,039,2 \text{ грн}$$

«Дезефект» – засіб являє собою прозору рідину зеленого кольору із запахом ароматизатора. За вимогою споживача до складу засобу можуть не додаватись барвник та ароматизатор. Засіб добре змішується з водою у будь-якому співвідношенні. Водні робочі розчини засобу прозорі, світло-зеленого кольору, майже без запаху, з помірним піноутворенням і вираженими дезодоруючими властивостями, добре змиваються з оброблених поверхонь не залишаючи нальоту, плям і потьоків.

Дезефект має антимікробні властивості проти широкого спектра грам + і грам-бактерій. Має 4 клас небезпеки (малонебезпечна речовина за ГОСТ 12.1.007-76). Не містить летких екологічно несприятливих компонентів, не подразнює слизові органів дихання й очей [65].

Засіб застосовується як водні робочі розчини в концентрації від 0,1% до 3,8% залежно від сфери застосування, збудника, різновиду забруднення, об'єктів і цілі оброблення. Рекомендована витрата робочого розчину — 100 мл/м². Спосіб оброблення: ручний (протирання, зрошення, замочування, занурення, заповнення), механізований (зокрема в поломних машинах), аерозольний, у ультразвуковому та циркуляційному мийному обладнанні [66].

Приготування розчину: для приготування 1 л робочого розчину концентрацією 2,3% необхідно розвести 23 мл Дезефекту в 977 мл води [67].

Вартість обробки за цикл:

$V = \sum F \times D_{\text{дз}} \times V_{\text{дз}}$, Грн, де $\sum F$ – сумарна площа, що обробляється дез.розчинами; м²; $D_{\text{дз}}$ – витрати дез.розчину на 1 м² поверхні, л/м²; $V_{\text{дз}}$ – вартість 1 л дез.розчину, Грн/л.

$$V = 100 \ 171,4 \times 0,1 \times 10,07 = 100 \ 872,6 \text{ грн}$$

«Гембар» - дезінфекційний засіб виробництва фірми НВЦ "Біоцид" (Україна). В якості АДР містить полігексаметиленгуанідин фосфат. Являє собою безбарвну або жовтувату прозору рідину. Не має запаху, добре розчиняється у воді. Не ушкоджує об'єкти, виготовлені з металу, скла, полімерних матеріалів та гуми. Після висихання розчину на оброблених поверхнях утворюється плівка.

Засіб належить до малонебезпечних речовин (4 клас небезпеки по ГОСТ 12.1.007), не подразнює шкіру, не виявляє сенсibiliзуючих, кумулятивних, мутагенних та канцерогенних властивостей, але подразнює слизову оболонку очей [68].

Приготування розчину: для приготування 1 літру 0,25 % розчину Гембару для дезінфекції потрібно розвести в 990 мл води 10 мл Гембару [69].

Вартість обробки за цикл:

$V = \sum F \times D_{\text{дз}} \times V_{\text{дз}}$, Грн, де $\sum F$ – сумарна площа, що обробляється дез.розчинами; м²; $D_{\text{дз}}$ – витрати дез.розчину на 1 м² поверхні, л/м²; $V_{\text{дз}}$ – вартість 1 л дез.розчину, Грн/л.

$$V = 100 \ 171,4 \times 0,1 \times 5,16 = 51 \ 688,44 \text{ грн}$$

«Гуасепт (Guasept)» – концентрована прозора безбарвна рідина. Водні розчини

засобу «Гуасепт (Guasept)» прозорі, без запаху. Дозволено використовувати на підприємствах біотехнологічної та мікробіологічної промисловості. Не пошкоджує об'єкти, що виготовлені із корозійностійких і нестійких до корозії металів, термостабільних і термолабільних матеріалів, скла, гуми, каучуку, штучної шкіри тощо.

Використовують для проведення одночасного миття та дезінфекції поверхонь в приміщенні (стіни, підлога, підвіконня), поверхонь меблів та обладнання. Також відмінно видаляє плісняву та попереджає її повторне утворення. Засіб має миючі, дезодоруючі, змочувальні, емульгуючі властивості. Унікальність даного продукту полягає в тому, що на поверхнях, оброблених цим засобом, може зберігатись антимікробна активність на тривалий термін від декількох днів до 8 місяців [70].

Відноситься до 4 класу небезпечності при нанесенні на шкіру і слизові.

Приготування розчину: для приготування 1 літру 0,3 % розчину Гуасепту для дезінфекції потрібно розвести в 997 мл води 3 г Гуасепту [71].

Вартість обробки стін, вікон, дверей та підлоги за цикл:

$V = \sum F \times D_{\text{дз}} \times V_{\text{дз}}$, Грн, де $\sum F$ – сумарна площа, що обробляється дез.розчинами; м^2 ; $D_{\text{дз}}$ – витрати дез.розчину на 1 м^2 поверхні, л/ м^2 ; $V_{\text{дз}}$ – вартість 1 л дез.розчину, Грн/л.

$$V = 100\,171,4 \times 0,1 \times 1,3 = 13\,022,3 \text{ грн}$$

Вартість обробки обладнання за цикл:

$V = \sum F \times D_{\text{дз}} \times V_{\text{дз}}$, Грн, де $\sum F$ – сумарна площа, що обробляється дез.розчинами; м^2 ; $D_{\text{дз}}$ – витрати дез.розчину на 1 м^2 поверхні, л/ м^2 ; $V_{\text{дз}}$ – вартість 1 л дез.розчину, Грн/л.

$$V = 166\,026 \times 0,1 \times 1,3 = 21\,583,4 \text{ грн}$$

Мийні та дезінфікуючі засоби для обробки рук персоналу

Засіб дезінфекційний «Скінман Софт Протект ФФ (Skinman Soft Protect FF)» – призначенням для дезінфекції шкіри рук на підприємствах фармацевтичної, мікробіологічної промисловості. Інноваційний та високоактивний антисептик створений для частотої та дуже частотої обробки рук з ефективним комплексом для

догляду за шкірою рук. Формула засобу не спричиняє налипання на руках після аплікації. Цей засіб має бактерицидну, фунгіцидну, протівірусну та туберкулоцидну, мікобактерицидну дії [72].

Засіб дезінфекційний «АХД 2000 ультра» – дозволено використовувати на підприємствах біотехнологічної та мікробіологічної промисловості. Дезінфікуючий засіб для гігієнічної обробки рук і шкіри, а також для швидкої дезінфекції невеликих поверхонь. Спирт має віруліцидну, бактерицидну, туберкулоцидну, фунгіцидну активність. Засіб має пролонговану дію протягом 3-х годин. Також перевагою цього засобу є те, що він має у своєму складі комплекс догляду за шкірою: захищає шкіру рук від сухості і подразнень та зберігає еластичність і природний водно-жировий баланс шкіри [73].

Узагальнена характеристика мийних та дезінфікуючих засобів

Назва миючого / дезінфікуючого засобу (діюча речовина)	Об'єкт миття та /або дезінфекції	Концентрація робочого розчину, %	Вартість 1 л (кг) мийного або дез. засобу, Грн /л(кг)	Вартість 1 л робочого розчину мийного або дез.засобу, Грн/л	Витрати роб.розчину, л/м ²	Вартість обробки за цикл, В, Грн
«Фамідез Санокварт» (алкілдиметилбензиламонію хлорид- 6,66; дидецилдиметиламонію хлорид-3,33)	Обладнання	1	337	3,37	0,1	55 951
Каустична сода (NaOH)	Обладнання	1	51	0,51	0,1	8 467,3
«Дезактін» (1,3-дихлор-5,5 - диметилгідантоїн у межах 21,0-23,0 % та 5,5- диметилгідантоїн у межах 12,4-16,4 %)	Обладнання	0,5	398	1,99	0,1	33 039,2

Закінчення табл.5.4

Дезфект (комплекс четвертинних амонієвих сполук не менше 9,0 %, у т.ч. алкілдиметилбензиламоній хлорид – 4,5 %; алкілдиметилетилбензил амоній хлорид – 4,5 %)	Стіни, вікна, двері, підлога	2,3	438	10,07	0,1	100 872,6
«Гембар» (Полігексаметиленгуанід ін гідрохлорид - 25,0%)	Стіни, вікна, двері, підлога	0,25	516	5,16	0,1	51 688,44
«Гуасепт (Guasept)» (Полігексаметиленгуанід ину гідрохлориду - 26,0 +/- 1,5%)	Стіни, вікна, двері, підлога, обладнання	0,3	436	1,3	0,1	13 022,3 21 583,4

Примітка: ціни наведені станом на 17.03.24:

1. https://centur.com.ua/gigiena/myyuchi-zasoby/dezynfektsiya-poverkhon/dez-nf-kuyuchiy-zas-b-sanokvart-10-l?utm_source=google&utm_campaign=1738404373&utm_medium=cpc&gclid=Cj0KCCQjwgJyyBhCGARIsAK8LVLN9ZukBegIlsJNc9C-vf40uzLT_z9L8gg7pILRMjjE9vz3Sxe7PKxwaApLtEALw_wcB
2. https://prom.ua/ua/p1936620743-soda-kausticheskaya.html?token=v2%3A_dLm4872_jkRk4LmScOHG0jtmLMZbLW7emxrtOeqTXQYcvscCu_HeUD6H6pdunT6EE6gEIZJ40QjRCnZNZELiXVVHMR2LJLYF0pM1B0SW98A9E4s7FFeOrTxlPibsuJ&campaign_id=3830593&product_id=1936620743&source=prom%3Asearch%3Atag%3Aserp&ocale=uk&category_ids=82105&from_spa=true
3. <https://apteka911.ua/ua/shop/poroshok-dlya-dezinfektsiyi-dezaktin-1-kg-p27126>
4. https://newmed.in.ua/p2107581990-zhidkoe-kontsentrirovannoe-dezinfitsiruyushee.html?source=merchant_center&gad_source=1 &gclid=CjwKCAjwte-

[vBhBFEiwAQSv_xR3U7N2JYege-J6gJTIJCwhcbi0b7mVn0Jg-hP5jE4Q4cmI_n6eVjRoC_tIQAvD_BwE](https://spilna-meta.com.ua/ua/p257133961-dezinfitsiruyuschee-sredstvo-gembar.html)

5. <https://spilna-meta.com.ua/ua/p257133961-dezinfitsiruyuschee-sredstvo-gembar.html>
6. https://medimark.com.ua/dezinfekciya/dezinficiruyushchie-sredstva/dezinficiruyuschee-sredstvo-koncentrat-guasept-5-l/?gclid=CjwKCAjwte-vBhBFEiwAQSv_xfPmfSW21hu2Nxxh_nqHMi_-RQI7crkoKvwuH0IFfy90Qw3h2b4c6XBoC3zIQAvD_BwE

Варто відмітити, що усім наведеним в табл. 5.4 засобам притаманні як високі миючі, так і дезінфікуючі властивості.

Перевагами усіх вище зазначених дезінфікуючих засобів є стабільність при зберіганні, зручне приготування робочих розчинів, повний спектр знезаражуючої дії, екологічна безпека та легкість змивання з поверхонь. Але при виборі дезінфікувальних засобів увагу слід звертати також і на їх вартість.

Отже, проаналізувавши дані, наведені у табл. 5.4, можна зробити такі висновки:

– для миття обладнання, інвентарю, комунікацій, тари доцільно використовувати каустичну соду, яка проста у приготуванні, має невисоку вартість.

– Для миття фотобіореактора слід використовувати «Дезактін» та «Гуасепт» оскільки вони є мийно-дезінфікувальними засобами, що дає змогу заощадити кошти.

– для миття та дезінфекції стін, підлоги, вікон та дверей – «Гуасепт », оскільки він є мийно-дезінфікувальним засобом, що дає змогу заощадити кошти, але слід змінювати засоби раз на 3 місяці, щоб запобігти виникнення резистентності мікроорганізмів.

Слід також відмітити, що з метою забезпечення чистоти повітря у виробничих приміщеннях необхідним є оснащення стельовими бактерицидними лампами. Їх вмикають на 1–1,5 год після проведення генерального прибирання (проводиться перед початком виробничого циклу), в попередньо звільнених від персоналу приміщеннях.

5.4. Особливості підготовки та стерилізації поживного середовища

Згідно зі здійсненими в розділі 1 розрахунками, виробничий біосинтез *Spirulina platensis* проходить у ферментері об'ємом 10 м³, що містить 7,5 м³ поживного середовища.

Інокулят отримують у п'ять етапів: у двох колбах, в фотобіореакторах об'ємом 1,8 м³, 300 л, 50 л, 8 л.

Для виробничого біосинтезу біомаси *Spirulina platensis* використовується середовище такого складу (г/л) [6]:

Живильне середовище Заррука з меншим вмістом K_2HPO_4 :

K_2HPO_4 – 0,25 г,

$NaHCO_3$ - 16,8 г,

$NaNO_3$ - 2,5 г,

K_2SO_4 - 1,0 г,

$NaCl$ - 1,0 г,

$CaCl_2$ - 0,04

Na_2EDTA - 0,08 г,

$MgSO_4 \times 7H_2O$ - 0,2 г,

$FeSO_4 \times 7H_2O$ - 0,01 г.

Розчин мікроелементів - 1,0 мл.

H_3BO_3 - 2,86 г,

$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ - 0,02 г,

$MnCl_2 \times 4H_2O$ - 1,8 г,

Cu_2SO_4 - 0,08 г,

$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ - 0,22 г.

За рахунок відсутності у середовищі джерела органічного вуглецю унеможлиблюється виникнення контамінації бактеріями, в наслідок цього дотримується монокультура *Spirulina platensis*.

Враховуючи згадане вище, можна спростити процес підготовки поживного середовища, а саме виключити етап стерилізації, оскільки стерилізація є досить енерговитратним процесом і відсутність даного етапу не зашкодить підтримки чистоти культури.

Також необхідно визначити вміст мікроелементів, необхідний для кожної стадії технологічного процесу (табл. 5.5). Зважаючи на малі концентрації мікроелементів, що входять до поживного середовища Зарукка, даний запасний розчин для зручності будемо готувати в перерахунку на всі стадії вирощування інокуляту та промислового культивування.

Якщо концентрація мікроелементів становить 1 мл/л середовища, то на стадії вирощування інокуляту з об'ємом поживного середовища 1,5 м³ необхідно

приготувати 1,5 л розчину мікроелементів, а на виробничий біосинтез з об'ємом поживного середовища 7,5 м³ необхідно приготувати 7,5 л розчину мікроелементів.

Розрахунок необхідних кількостей мікроелементів для приготування середовища для вирощування інокуляту та промислового культивування *Spirulina platensis* наведено в табл.5.5 та табл.5.6.

Таблиця 5.5

Склад мікроелементів для вирощування інокуляту та промислового культивування *Spirulina platensis*

Компонент мікроелементів	Концентрація, г/л	Вміст компонента у 9 л розчину мікроелементів, г
H ₃ BO ₃	2,86	25,74
MnCl ₂ ×4H ₂ O	1,8	16,2
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	0,02	0,18
Cu ₂ SO ₄	0,08	0,72
ZnSO ₄ *7H ₂ O	0,22	1,98

Таблиця 5.6

Розрахунок вмісту мікроелементів в різних об'ємах поживного середовища

Об'єм середовища, л	Вміст мікроелементів, г					Спосіб внесення
	H ₃ BO ₃	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	MnCl ₂ ×4H ₂ O	Cu ₂ SO ₄	ZnSO ₄ ×7H ₂ O	
0,97	0,0027742	0,0000194	0,001746	0,0000776	0,0002134	Колба
5,78	0,0165308	0,0001156	0,010404	0,0004624	0,0012716	
34,73	0,0993278	0,0006946	0,062514	0,0027784	0,0076406	
208,33	0,5958238	0,0041666	0,374994	0,0166664	0,0458326	
1250	3,575	0,025	2,25	0,1	0,275	
Сума	4,29	0,03	2,7	0,12	0,33	Реактор-змішувач
7500	21,45	0,15	13,5	0,6	1,65	

5.4.1 Особливості підготовки поживного середовища для одержання інокуляту в колбах

Для вирощування інокуляту необхідно приготувати 0,97 л поживного середовища. Джерелом вуглецю в середовищі є бікарбонат, джерелом азоту –

нітратна сіль. Вміст компонентів для приготування 0,97 л середовища наведено в табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Склад макроелементів для вирощування інокуляту в колбах Ерленмейєра

Компонент поживного середовища	Концентрація, г/л	Вміст компонента у 0,97 л середовища, г
K_2HPO_4	0,25	0,24
$NaHCO_3$	16,8	16,30
$NaNO_3$	2,5	2,43
K_2SO_4	1,0	0,97
$NaCl$	1,0	0,97
$CaCl_2$	0,04	0,04
Na_2EDTA	0,08	0,08
$MgSO_4 \times 7H_2O$	0,2	0,19
$FeSO_4 \times 7H_2O$	0,01	0,01
Розчин мікроелементів		0,97 мл
Вода		0,948 л
Разом		0,97 л

5.4.2. Особливості підготовки поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 8 л

Для отримання 6,94 л інокуляту необхідно приготувати 5,78 л середовища. Вміст компонентів для приготування 5,78 л середовища наведено в табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Склад макроелементів для вирощування інокуляту (6,94 л)

Компонент поживного середовища	Концентрація, г/л	Вміст компонента у 5,78 л середовища, г
K_2HPO_4	0,25	1,45
$NaHCO_3$	16,8	97,10
$NaNO_3$	2,5	14,45
K_2SO_4	1,0	5,78
$NaCl$	1,0	5,78
$CaCl_2$	0,04	0,23
Na_2EDTA	0,08	0,46
$MgSO_4 \times 7H_2O$	0,2	1,16
$FeSO_4 \times 7H_2O$	0,01	0,06
Вода		5,648 л
Розчин мікроелементів		6 мл
Разом		5,78 л

5.4.3. Особливості підготовки поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 50 л

Для отримання 41,67 л інокуляту необхідно приготувати 34,73 л середовища. Вміст компонентів для приготування 34,73 л середовища наведено в табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Склад макроелементів для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 50 л

Компонент поживного середовища	Концентрація, г/л	Вміст компонента у 34,73 л середовища, г
K ₂ HPO ₄	0,25	8,68
NaHCO ₃	16,8	583,46
NaNO ₃	2,5	86,83
K ₂ SO ₄	1,0	34,73
NaCl	1,0	34,73
CaCl ₂	0,04	1,39
Na ₂ EDTA	0,08	2,78
MgSO ₄ ×7H ₂ O	0,2	6,95
FeSO ₄ ×7H ₂ O	0,01	0,35
Вода		33,935 л
Розчин мікроелементів		35 мл
Разом		34,73 л

5.4.4. Особливості підготовки поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 300 л

Для отримання 0,25 м³ інокуляту необхідно приготувати 208,33 л середовища. Вміст компонентів для приготування 208,33 л середовища наведено в табл. 5.10.

Таблиця 5.10

Склад макроелементів для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 300 л

Компонент поживного середовища	Концентрація, г/л	Вміст компонента у 208,33 л середовища, г
K ₂ HPO ₄	0,25	52,08
NaHCO ₃	16,8	3499,94
NaNO ₃	2,5	520,83
K ₂ SO ₄	1,0	208,33
NaCl	1,0	208,33
CaCl ₂	0,04	8,33
Na ₂ EDTA	0,08	16,67
MgSO ₄ ×7H ₂ O	0,2	41,67
FeSO ₄ ×7H ₂ O	0,01	2,08

Вода	203,564 л
Розчин мікроелементів	208 мл
Разом	208,33 л

5.4.5. Особливості підготовки поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 1,8 м³

Для отримання 1,5 м³ інокуляту необхідно приготувати 1,25 м³ середовища.

Вміст компонентів для приготування 1,25 м³ середовища наведено в табл. 5.11.

Таблиця 5.11

Склад макроелементів для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 1,8 м³.

Компонент поживного середовища	Концентрація, г/л	Вміст компонента у 1250 л середовища, г
K ₂ HPO ₄	0,25	312,5
NaHCO ₃	16,8	21000
NaNO ₃	2,5	3125
K ₂ SO ₄	1,0	1250
NaCl	1,0	1250
CaCl ₂	0,04	50
Na ₂ EDTA	0,08	100
MgSO ₄ ×7H ₂ O	0,2	250
FeSO ₄ ×7H ₂ O	0,01	12,5
Вода		1221,4 л
Розчин мікроелементів		1,250 л
Разом		1250 л

5.4.6. Особливості підготовки поживного середовища для виробничого біосинтезу у фотобіореакторі об'ємом 10 м³

Для виробничого біосинтезу необхідно приготувати 7500 л середовища. Вміст компонентів для приготування 7500 л середовища наведено в табл. 5.12.

Таблиця 5.12

Склад макроелементів для виробничого біосинтезу у фотобіореакторі об'ємом 10 м³.

Компонент поживного середовища	Концентрація, г /л	Вміст компонента у 7500 л середовища, г
K ₂ HPO ₄	0,25	1875
NaHCO ₃	16,8	126000
NaNO ₃	2,5	18750
K ₂ SO ₄	1,0	7500

NaCl	1,0	7500
CaCl ₂	0,04	300
Na ₂ EDTA	0,08	600
MgSO ₄ ×7H ₂ O	0,2	1500
FeSO ₄ ×7H ₂ O	0,01	75
Вода		7328,4 л
Розчин мікроелементів		7,5 л
Разом		7500 л

Отже, технологічна схема, окрім стадій підготовки посівного матеріалу, включає додаткову стадію приготування розчину мікроелементів (9 л) в реакторі змішувачі об'ємом 15 л для вирощування посівного матеріалу в двох колбах і фотобіореакторах об'ємом 10 м³, 1,8 м³, 300 л, 50 л, 8 л.

5.5. Обґрунтування стадій виділення і очищення цільового продукту

Після ферментаційних процесів культуральна рідина містить залишки поживного середовища та клітини продуцента, тому для виділення цільового продукту необхідно провести ряд процесів.

Отримання біомаси *Spirulina platensis* включає такі етапи [53]:

- відділення біомаси;
- промивання біомаси;
- відділення біомаси;
- сушіння біомаси;
- подрібнення біомаси;
- просіювання;
- фасування та пакування.

5.5.1. Відділення біомаси

Першим етапом отримання біомаси *Spirulina platensis* є відділення клітин продуцента *Spirulina platensis* від культуральної рідини після закінчення культивування з метою отримання вологої біомаси. Найбільш поширеними методами відділення біомаси мікродоростей є флотація, фільтрування та центрифугування [74, 75]. Для відділення біомаси від культуральної рідини можна застосовувати флотацію. Використання цього методу для відділення клітин *Spirulina platensis* від культуральної рідини неефективне, оскільки він призначений для

концентрації більших і важчих клітин мікроводоростей. Крім того, для подальшої концентрації суспензії мікроводоростей, що утворилася під час флотації, необхідне додаткове сепарування, що сповільнює етап виділення цільового продукту [76].

Не доцільно використовувати центрифугування саме для клітин мікроводоростей *Spirulina platensis*. Оскільки через їхню волокнисту структуру у процесі обертання ротору частина біомаси осаджується на стінках та забиває їх, тоді решта біомаси не зможе відділитися та залишається в рідині [75].

Найбільш доцільним для відокремлення біомаси *Spirulina platensis* є метод фільтрування. Під фільтруванням розуміють розділення твердої та рідкої фаз під час перепускання суспензії крізь пористу перегородку (фільтр) [75].

Найпоширенішим видом фільтрації є *фільтрування з утворенням осаду*.

У промислових умовах застосовують різноманітні за конструкцією фільтри, які класифікують за наступними основними ознаками [76]:

- *тип процесу*: розділення, згущення та освітлення;
- *напрямок фільтрації*: униз, угору, вбік;
- *конструкція*: форма та положення поверхні, робочий простір для суспензії, фільтрату та осаду; спосіб знімання осаду; наявність пристроїв для промивання й зневоднювання осаду.

Під час вибору фільтра необхідно враховувати такі аспекти, як фізико-хімічні характеристики суспензій, вимоги до фільтрату та осаду, техніко-економічні показники, продуктивність фільтра тощо [76].

По мірі нарощування біомаси *Spirulina platensis*, живильне середовище з культурою перекачується на стрічковий фільтр-прес за допомогою помпи (рис. 5.5). У цьому фільтрувальному пристрої біомаса *Spirulina platensis* відділяється від рідинної фази та направляється на етап промивання [77].



Рис.5.5. Стрічковий фільтр-прес фірми Esmil group, модель Esmil [78]

Таблиця 5.13

Технічні характеристики стрічкових фільтр-пресів Esmil [78] :

1	Продуктивність за сухою речовиною, кг СР/год	200 - 1100
2	Продуктивність за вихідним осадом, м ³ /год	5 - 50
3	Ширина стрічок, мм	600 - 2000
4	Потужність приводів, кВт	0,75 - 3,3
5	Маса, кг	2990 - 6600

Даний фільтр -прес має такі переваги:

- *Енергоефективність і низька витрата флокулянта.* Стрічковий фільтр-прес характеризується низьким енергоспоживанням і незначною витратою флокулянта. Широкий діапазон потужності та продуктивності моделей, які випускаються, дозволяє підібрати оптимальне обладнання для кожного проекту.
- *Високий ступінь зневоднення.* Високий ступінь зневоднення стрічкових фільтр -пресів Esmil досягається шляхом застосування в зоні віджиму послідовно розташованих притискних валів різних діаметрів. Зневоднений осад після фільтр-преса досягає залишкової вологості 72-80% при середній дозі флокулянта 2-3,5 кг/т сухої речовини осаду.
- *Продуктивність і компактність.* Для зниження гідравлічного навантаження на фільтр-прес і підвищення його продуктивності, комплекси механічного

зневоднення можуть постачатися у комплекті зі згущувачем осаду. Стрічкові згущувачі можуть застосовуватися, як окремий агрегат для згущення осадів до вологості 92-97%, так і встановлюватися над стрічковим фільтр-пресом для збільшення гідравлічної продуктивності комплексу.

- *Безперервна робота в автоматичному режимі.* Система керування забезпечує можливість роботи комплексу механічного зневоднення осаду, як у ручному, так і в автоматичному режимах. Налаштування параметрів і режимів роботи обладнання інтуїтивно зрозумілі та не викликають складнощів.
- *Низький рівень шуму та вібрації.* Висока екологічність конструкції обладнання забезпечує низький рівень шуму та вібрації. Стрічковий фільтр-прес може бути укомплектований захисними кожухами із фланцями для під'єднання до витяжної вентиляції, що дозволяє запобігти поширенню неприємних запахів.
- *Зручність експлуатації та обслуговування.* Використання високоякісних компонентів та перевірених часом технічних рішень забезпечує тривалий термін служби обладнання, що зводить до мінімуму необхідність його обслуговування. Конструкція стрічкового фільтр-пресу дозволяє здійснювати візуальний контроль за процесом зневоднення, промивання та є зручною для виконання профілактичних робіт і заміни деталей, які зношуються. Основні робочі вузли легкодоступні, а їхнє обслуговування виконується із використанням стандартних інструментів.

5.5.2. Промивання біомаси

Так як отримана біомаса була вирощена в сильно лужному середовищі, то для комфортного і безпечного вживання БАДу необхідно з отриманої біомаси змити солі, які залишилися після культивування.

Отриману біомасу направляють у реактор та промивають злегка підкисленою дистильованою водою у співвідношенні 1 мл концентрованої HCl на 1 л води [77].

5.5.3. Відділення біомаси

Після промивання знесолену біомасу знову зневоднюють (див. пункт 5.5.1.). Потім зневоднену біомасу направляють до сушарки [53].

5.5.4. Висушування біомаси

Одержану вологу біомасу з вологістю 72-80 % далі слід піддати подальшому висушуванню [53].

Сушіння – процес видалення вологи з вологого матеріалу, що проводиться з метою збереження та отримання готового продукту.

Препарати на основі біомаси висушують різними методами. З найбільших поширених є конвективне висушування, контактне та інфрачервоне сушіння [76].

Під час *контактної сушки* матеріал нагрівається через прямий контакт з гарячими поверхнями, такими як плити чи вальці. Однак цей метод сушіння має ряд недоліків. Температура теплоносія (пари) в плитах зазвичай коливається від 120 до 180°C. При таких умовах відбувається інтенсивне пароутворення всередині матеріалу, тоді волога виділяється з матеріалу шляхом молярного вологоперенесення. На жаль, цей метод сушіння в даний час не використовується через його недоліки, такі як нерівномірне сушіння, жолоблення матеріалу та інші проблеми.

При *інфрачервоній сушці* теплота передається від нагрітого джерела до висушуваного матеріалу за допомогою інфрачервоного випромінювання.

При використанні інфрачервоних променів для сушіння, напрямки потоку вологи та тепла протилежні, що трохи сповільнює процес сушіння. Метод має свої недоліки, такі як підгорання зовнішнього шару сировини і за рахунок проникнення променів ззовні в середину відбувається дефундування вологи у внутрішні шари сировини. Це може погіршити фізико-хімічні властивості готового продукту [79].

При *конвективному сушінні* тепло передається від джерела теплової енергії до поверхні матеріалу, що піддається сушінню за допомогою газоподібного теплоносія. У конвективному сушінні в якості сушильного агента можуть використовуватися повітря, топкові гази та у випадках, коли це необхідно, інертні гази. Цей метод найпоширеніший в біотехнології.

Інтенсивність сушіння визначається швидкістю теплообміну між сушильним агентом і висушуваним матеріалом, яка залежить від коефіцієнта теплообміну, різниці температур (рушійної сили процесу теплопередачі) і поверхні контакту.

Перевагами даного методу є його простота та швидкість висушування [76].

Найоптимальнішим варіантом теплоносія є повітря, його можна брати з навколишнього середовища, попередньо підготувавши його для позбавлення різних домішок та пилу. Інертні гази, на відміну від повітря, треба постійно закуповувати, що є головним мінусом даного теплоносія. Димові гази мають неприємний запах, а також забруднюють навколишнє середовище, що є важливим недоліком. Тому, найкращим варіантом є повітря, адже обладнання для його підготовки треба закупити 1 раз на довгий термін та періодично обслуговувати, а сам теплоносій можна відбирати безкоштовно з атмосфери, не завдаючи ніякої шкоди.

Отже, для процесу сушіння обираємо конвекційну сушку (рис. 5.6). Принцип роботи даної сушки полягає в тому, що повітря подається в сушарку знизу і проходить через нагрівальний елемент. Тепле повітря надходить у лотки із зовнішніх стінок, обдуває завантажений продукт і виходить назовні через центральний колодязь. На кожен лоток подається окрема порція повітря, тому запахи не змішуються і всі шари висихають одночасно навіть за максимального завантаження сушарки. Під час сушіння немає потреби міняти лотки місцями. Можна збільшувати об'єм сушіння (за потреби) зі збільшенням кількості лотків до 30 шт [80].

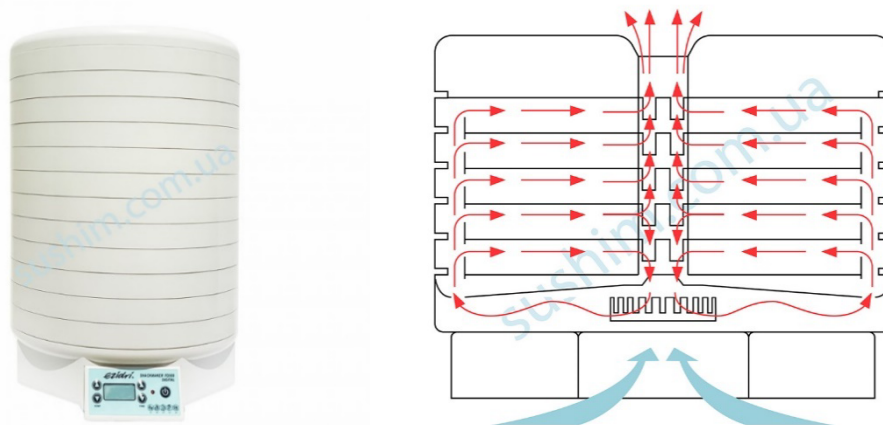


Рис.5.6. Сушарка конвекційна фірми Ezidri Ultra FD1000 Ultimate [80].

Технічні характеристики сушарки [80]:

1	Потужність	1000 Вт
2	Управління	Цифровий блок управління
3	Температурний діапазон	від +30°C до +70°C (з кроком 5°C)
4	Діаметр	390 мм
5	Матеріал основи	харчовий вогнетривалий полікарбонат
6	Тип електронагрівального елемента	ТЕН
7	Безпека	три запобіжника на: двигун, тен, блок управління
8	Кількість піддонів	До 30 шт

5.5.5. Подрібнення біомаси

Метою даної стадії є подрібнити і розтерти в порошок біомасу мікроводоростей після висушування.

Подрібнення можна здійснювати різними способами:

- Роздавлювання;
- Ударом;
- Розколюванням;
- Стиранням.

Одним з найпоширеніших типів млинів для розмелювання твердого матеріалу є барабанний кульовий млин, який представляє собою обертовий звичайно-циліндричний барабан, частково заповнений помольними тілами у вигляді куль.

У барабанних млинах матеріал подрібнюється всередині порожнього барабана. При обертанні помольні тіла (кулі) і матеріал, що подрібнюється спочатку рухаються по круговій траєкторії разом з барабаном, а потім падають по параболі. Матеріал подрібнюється в результаті стирання при відносному переміщенні

помольних тіл і частинок матеріалу, а також внаслідок удару.

Після сушіння біомасу поміщають у кульковий млин, де також розміщуються металеві кульки та перемелюють біомасу протягом 5 хв [81].



Рис. 5.7. Кульовий млин D 504

5.5.6. Просіювання

Після подрібнення біомаси розмір часточок завжди неоднорідний. Із-за цього необхідно відокремлювати крупніші частки від основної маси, тобто просіювати.

У результаті просівання вихідний матеріал розділяється на дві фракції: просів (матеріал, що пройшов крізь сітку) і відсів (що затримався на ситі) [81].

Враховуючи те, що кількість біомаси за цикл становить 29,43 кг, то для просіювання обираємо лабораторне переносне сито з діаметром пор 0,1 мм.

Відсів біомаси знову подрібнюють.

5.5.7. Фасування та пакування

Враховуючи те, що дана біомаса застосовується як БАД можна використовувати недорогу тару, але таку, яка б все одно захищала цільовий продукт від пошкоджень, втрат та впливу дії факторів навколишнього середовища.

Недоцільно використовувати пластикову чи скляну тару, так як вона зробить товарний препарат дорожчим. Найоптимальнішою тарою для спіруліни є паперові крафт пакети – дой-пак (рис.5.8.). Завдяки наявним характеристикам цей вид упаковки все більше і більше захоплює ринок.

У розвинених країнах фасування в крафт-пакети давно використовується всюди, де це можливо. Основна перевага цього виду упаковки – це простота механізації пакувального процесу що полегшує процес обігу продукції під час

транспортування, складування, реалізації тощо; зручність у використанні; бар'єрна стійкість до мікроорганізмів [82].

Основною особливістю такого пакету є можливість ставити його вертикально на кругле дно. Такий тип дна збільшує об'єм пакета. Для зручності і багаторазового використання пакет оснащений замком zip-lock. Пакет володіє хорошою місткістю. Зверху пакета передбачено місце під запаювання, а також насічка для легкого відкривання. Пакет виготовлений з плівки дуплекс: крафтовий папір/поліетилен [83].

Отже, проаналізувавши вищеперераховані переваги, для пакування біомаси спіруліни обираємо крафт-пакети дой-пак.



Рис.5.8.Крафтовий пакет дой-пак [84].

Фасування та пакування буде здійснюватись вручну, у зв'язку з малими партіями біомаси (29,43 кг). Пакувати порошок спіруліни будемо по 250 г в крафтовий пакет дой-пак.

Готовий порошок слід зберігати в сухому місці, без потрапляння прямих сонячних променів при температурі нижче 25 °C [84].

5.6. Складання узагальненої принципової схеми із позначенням обраних післяферментаційних етапів

Відповідно до підрозділу 5.5. процесуальна схема обраних післяферментаційних етапів отримання біомаси спіруліни наведена на рис.5.9.

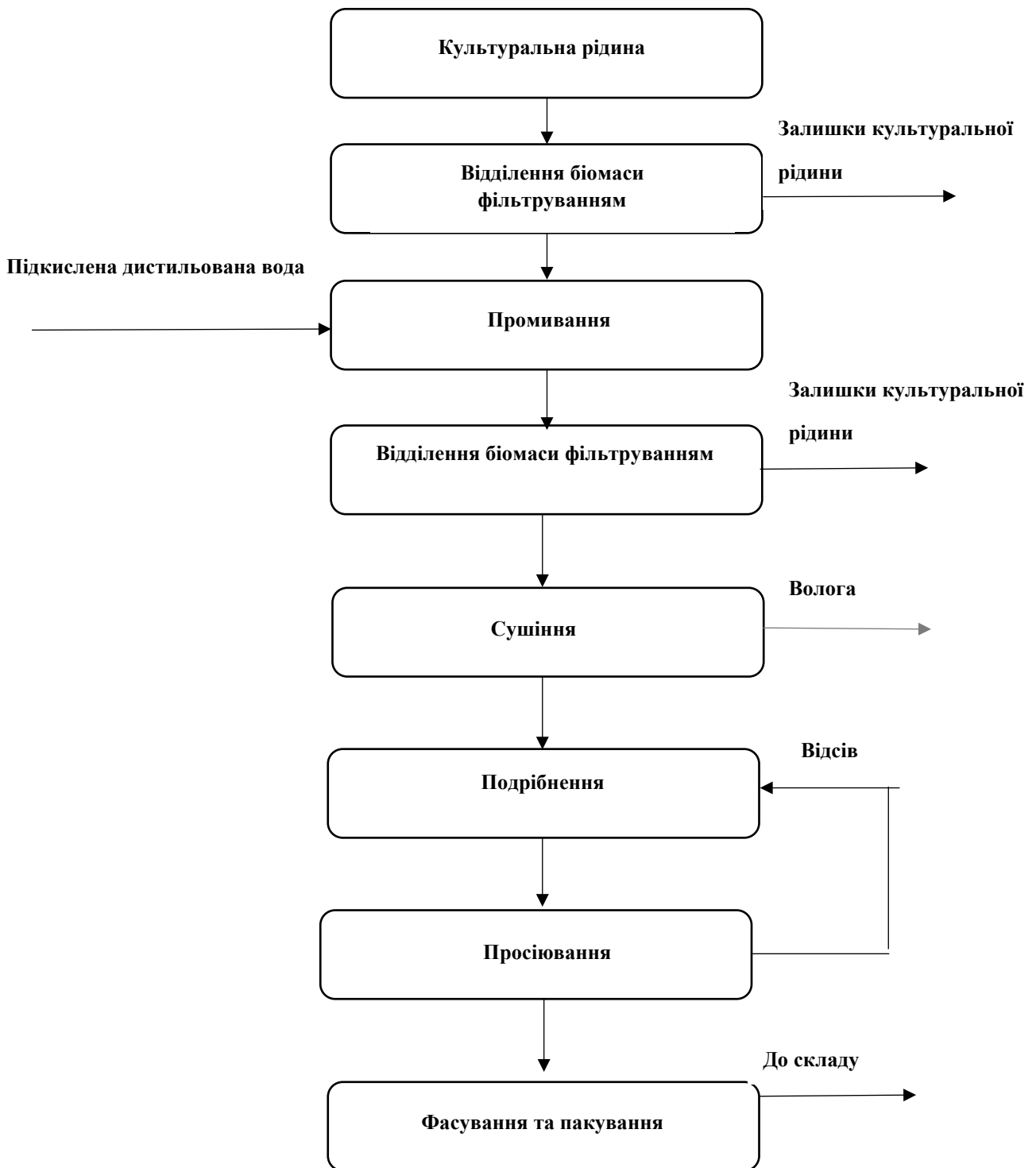


Рис. 5.9. Принципова схема обраних післяферментаційних етапів отримання біомаси *Spirulina platensis*

5.7. Втрати цільового продукту на обраних післяферментаційних етапах отримання біомаси *Spirulina platensis*

Орієнтовні втрати при отриманні готового продукту:

Під час процесу фільтрування частина біомаси може залишитися на

фільтраційних матеріалах або в устаткуванні.

Орієнтовні втрати під час фільтрування біомаси $E_{\phi}=4\%$.

Під час процесу промивання частина біомаси може втрачатися через видалення разом з водою, або залишатися на стінках реактору.

Орієнтовні втрати під час промивання біомаси $E_{\text{прм}}=0,5\%$.

Частина біомаси може прилипати до внутрішніх поверхонь сушарки або втрачатися через винос повітрям. Це може призводити до зниження загального виходу біомаси після сушіння.

Орієнтовні втрати під час сушіння біомаси $E_{\text{сш}}=2,5\%$.

Під час подрібнення, просіювання, фасування та пакування може виникати втрата біомаси, яка прилипає до інструментів або опиняється поза робочою зоною. Також під час фасування та пакування може втрачатися певна кількість біомаси через розкидання препарату. Орієнтовні втрати:

- подрібнення біомаси $E_{\text{пдр}}=1\%$;
- просіювання $E_{\text{пр}}=1\%$;
- фасування та пакування $E_{\text{фп}}=1\%$.

Сумарні втрати при отриманні готового продукту становлять $E_{\text{св}}=10\%$.

Такі втрати можуть бути мінімізовані за допомогою оптимізації параметрів процесу, використання ефективного обладнання та контролю процесу.

РОЗДІЛ 6. СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

Таблиця 6.1

Специфікація обладнання ділянки допоміжних робіт та виробничого біосинтезу

Позиція	Найменування	Кількість	Технічна характеристика (виробник)
1	2	3	4
P-1	Реактор–змішувач для приготування розчину мікроелементів	1	Лабораторний хімічний реактор високого тиску з нержавіючої сталі. Виробник: SHANGHAI YUHUA (Китай). Загальний об'єм 10 л [85].
Д-2	Об'ємний дозатор для подачі дистильованої води до P-1	1	Електронний промисловий дозатор води та рідин Serv_W21 (США, Італія). Об'єм дозуючої води: 0,1 –999,9 л; витрати води: 12 л/хв [86].
P -3	Реактор–змішувач для приготування макроелементів	1	Лабораторний хімічний реактор високого тиску з нержавіючої сталі. Виробник: SHANGHAI YUHUA (Китай). Загальний об'єм 10 л [85].
Д-4	Об'ємний дозатор для подачі дистильованої води до P-3	1	Електронний промисловий дозатор води та рідин Serv_W21 (США, Італія). Об'єм дозуючої води: 0,1 –999,9 л; витрати води: 12 л/хв [86].
Ф-5	Фотобіореактор	1	Виробник: Vbi-biotech GmbH (Німеччина). Фотобіореактор xCUBIO phar з розширеним блоком керування для біосистем, містить автоклавований насос кругової системи з магнітною муфтою. Виготовлений під замовлення об'ємом 8 л [87].
Н-6	Автоклавований насос	1	Автоклавований насос кругової системи з магнітною муфтою [87].
Д-7	Об'ємний дозатор для подачі дистильованої води до P-8	1	Електронний промисловий дозатор води та рідин Serv_W21 (США, Італія). Об'єм дозуючої води: 0,1 –999,9 л; витрати води: 12 л /хв [86].
P-8	Реактор–змішувач для приготування макроелементів	1	Двошаровий реактор з нержавіючої сталі оснащений перемішуючим пристроєм. Виробник: NANBEI (Китай). Загальний об'єм 50 л [88].
Н-9	Насос відцентровий для перекачування розчину макроелементів від P-8 до фотобіореактора Ф-10	1	Герметичні насоси серії FMB. Виробник: FLUIMAC (Італія). Відцентрові герметичні насоси з магнітним приводом. Продуктивність - від 15 до 70 л/хв. Напор - макс. до 8 м [89].
Ф-10	Фотобіореактор	1	Виробник: Vbi-biotech GmbH (Німеччина). Лабораторний фотобіореактор IGV R&D-LAB з розширеним блоком керування для біосистем. Об'єм під замовлення на 50 л [91].

					НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ			
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Заярнюк З.В.				РОЗДІЛ 6. СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Резніченко Ю.М.						88	147
Консультант						Кафедра БТМ		
Н. Контр.								
Затверд.	Стабніков В.П.							

Продовження табл.6.1

Н-11	Насос перестальтичний для циркуляції культуральної рідини в фотобіореакторі	1	Перистальтичний насос SEKO серії PSH 60 л/год NORPRENE. Максимальна продуктивність 120 л/год, тиск 0,1 бар. Виробник: SEKO SPA (Італія) [91].
Д-12	Ваговий дозатор для подачі макроелементів до Р-14	1	Ваговий дозатор «АгроТех» (Україна). Мінімальна межа дозування – 100 г, максимальна – 60 кг; напруга: 220 В; потужність: 2,2кВт [92].
Д-13	Об'ємний дозатор для подачі дистильованої води до Р-14	1	Електронний промисловий дозатор води та рідин Serv_W21 (США, Італія). Об'єм дозуючої води: 0,1 –999,9л; витрати води: 12 л/хв [86].
Р-14	Реактор–змішувач для приготування макроелементів	1	Реактор з нержавіючої сталі SR300f об'ємом 300 л, виробник «Across International» (США), матеріал: нержавіюча сталь 316L SST; оснащений сорочкою та мішалкою: 0-450 об /хв; потужність двигуна мішалки: 0,2 кВт; габаритні розміри: 965x 1194x 2057 мм [93].
Н-15	Насос відцентровий для перекачування розчину макроелементів від Р-14 до фотобіореактора Ф -16	1	Герметичні насоси серії FMB. Виробник:FLUIMAC (Італія). Відцентрові герметичні насоси з магнітним приводом. Продуктивність - від 15 до 70 л /хв. Напор - макс. до 8 м [89].
Ф-16	Фотобіореактор	1	Виробник:Vbi-biotech GmbH (Німеччина). Лабораторний фотобіореактор IGV R&D-LAB з розширеним блоком керування для біосистем. Об'єм під замовлення на 300 л [90].
Н-17	Насос перестальтичний для циркуляції культуральної рідини в фотобіореакторі	1	Перистальтичний шланговий насос ASP25/15IX. Максимальна продуктивність: 385 л/год. Максимальний тиск: 10 бар. Виробник: OTHER [94].
Д-18	Ваговий дозатор для подачі макроелементів до Р-20	1	Ваговий дозатор «АгроТех» (Україна). Мінімальна межа дозування – 100 г, максимальна – 60 кг; напруга: 220 В; потужність: 2,2 кВт [92].
Д-19	Об'ємний дозатор для подачі дистильованої води до Р-20	1	Електронний промисловий дозатор води та рідин АгроТех. Об'єм дозуючої води: 0,1 –9999л; робочий тиск: 0,5 атм – 10 атм; робоча напруга: 220 В [95].
Р-20	Реактор–змішувач для приготування макроелементів	1	Реактор з нержавіючої сталі 12X18Н10Т.Об'єм реактору – 2 м ³ . Апарат з еліптичним днищем та кришкою і приварною сорочкою. Умовний тиск 1,6 МПа. Виробник: ТОВ «ГК ЕВРОХІММАШ К.О.» (Україна) [96].
Н-21	Насос відцентровий для перекачування розчину макроелементів від Р-20 до фотобіореактора Ф-22	1	Насос Відцентровий СВМ 152 («Spegoni»). Потужність: 0,85 кВт; матеріал робочого колеса: чавун; висота напору: 21 м; продуктивність: 18 м ³ /год (300 л/хв); тиск: 10 бар [97].

Закінчення табл.6.1

Ф-22	Фотобіореактор	1	Мобільний фотобіореактор 1800 л IGV Виробник:Vbi-biotech GmbH (Німеччина). LAB з розширеним блоком керування для біосистем. Об'єм на 1,8 м ³ [90].
Н-23	Насос відцентровий для циркуляції культуральної рідини в фотобіореакторі	1	Насос відцентровий М-70 PL SAER (2,4 м ³ /год, 52 м). Потужність: 0,55 кВт; тиск: 8 бар; максимальний напір: 52 м. Виробник: SAER (Італія)[98].
Д -24	Ваговий дозатор для подачі макроелементів до Р-26	1	Ваговий дозатор «АгроТех» (Україна). Мінімальна межа дозування – 100 г, максимальна – 60 кг; напруга: 220 В; потужність: 2,2кВт. Весовой дозатор 0,1 - 60 кг [92].
Д-25	Об'ємний дозатор для подачі дистильованої води до Р -26	1	Електронний промисловий дозатор води та рідин АгроТех. Об'єм дозуючої води: 0,1 –9999л; робочий тиск: 0,5 атм – 10 атм; робоча напруга: 220 В[95].
Р -26	Реактор–змішувач для приготування макроелементів	1	Реактор з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т.Об'єм реактору – 10 м ³ . Апарат з еліптичним днищем та кришкою і приварною сорочкою. Умовний тиск 1,6 МПа. Виробник: ТОВ «ГК ЕВРОХІММАШ К.О.» (Україна) [96].
Н-27	Насос відцентровий для перекачування розчину макроелементів від Р-26 до фотобіореактора Ф-28	1	Насос Відцентровий CS 50-160 D («Speroni»). Потужність: 3 кВт; тиск: 10 бар; максимальний напір: 25 м; матеріал: чавун; продуктивність: 72 м ³ /год (1200 л/хв) [99].
Ф-28	Фотобіореактор	1	Промисловий фотобіореактор 10000 L (с) IGV. Виробник:Vbi-biotech GmbH (Німеччина). LAB з розширеним блоком керування для біосистем. Об'єм на 10 м ³ [90].
Н-29	Насос відцентровий для циркуляції культуральної рідини в фотобіореакторі	1	Насос відцентровий М-700В нерж.1.5кВт SAER (Італія) (10 м ³ /год, 52 м). Потужність: 1,5 кВт; тиск: 6 бар; максимальний напір: 52 м; продуктивність: 10 м ³ /год [100].

РОЗДІЛ 7. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

Технологічна схема отримання біомаси на основі *Spirulina platensis* наведена в додатку.

Технологічна схема отримання біомаси на основі *Spirulina platensis* включає допоміжні роботи (санітарну підготовку виробництва, приготування поживних середовищ) та технологічний процес – підготовка посівного матеріалу, виробничий біосинтез біомаси *Spirulina platensis* та знешкодження відходів.

ДР 1. Санітарна підготовка виробництва

Санітарна підготовка виробництва – це невід'ємна частина будь-якого виробничого процесу. Вона є одним з головних критеріїв забезпечення гарантії якості та безпечності виготовленої продукції. Вона складається з наступних частин:

ДР 1.1 Підготовка персоналу.

Дана стадія включає в себе навчання персоналу при прийомі на роботу та не рідше одного разу на рік (наприклад, у формі лекцій на підприємстві або в режимі онлайн), складання іспиту (наприклад, у формі тестів або виконання письмових питань), а також санітарно-гігієнічну підготовку персоналу (відповідно до правил GMP), проходження медоглядів, підготовку технологічного одягу (прання та прасування багаторазового одягу або закупівля одноразового).

Навчання необхідне для зменшення кількості потенційних помилок під час роботи та нещасних випадків, а отже і економічних витрат на вирішення цих проблем. Медогляди, санітарно-гігієнічна підготовка та підготовка технологічного одягу потрібні для зменшення ризику контамінації готової продукції, адже головне джерело контамінації на виробництві - персонал.

Кожен працівник виробничого цеху повинен бути забезпечений 2 комплектами санітарного одягу, заміна одягу проводиться щоденно і у міру забруднення. Працівники перед початком роботи повинні одягти чистий санітарний одяг.

					НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ			
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 7. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Заярнюк З.В.					91	147
Перевір.		Резніченко Ю.М.						
Консультант								
Н. Контр.								
Затверд.		Стабніков В.П.			Кафедра БТМ			

ДР 1.2. Підготовка миючих та дезінфікуючих засобів

Робочі розчини дезінфекційного засобу готують у промаркованій тарі з будь-яких матеріалів шляхом розчинення у воді. Для приготування робочих розчинів засобу використовують воду питну згідно ГОСТ 2874. Спочатку вносять у тару необхідний об'єм води, а потім додають потрібну кількість засобу, ретельно перемішують протягом 0,5 -1,0 хв до отримання прозорого розчину.

ДР 1.2.1. Підготовка розчину «Дезактін»

Для миття обладнання за допомогою СІР-мийки, готують 0,5 % розчин «Дезактін». Для цього необхідно взяти 50 г його концентрату і розчинити у 10 л питної води, перенести у 15 л збірник та перемішати 2 хв.

ДР 1.2.2. Підготовка розчину каустичної соди

Для ручного миття технологічного обладнання та інвентарю рекомендується використовувати 1 % розчин каустичної соди температурою 45 ± 5 °С. Для цього на технічних вагах зважують 100 г каустичної соди (ГОСТ 2263–79), подають у збірник об'ємом 15 л, та додають 9900 мл води.

ДР 1.2.3. Підготовка розчину «Гуасепт»

Робочі розчини засобу «Гуасепт (Guasept)» готують у промаркованому пластмасовому посуді або посуді з будь-якого іншого матеріалу шляхом розчинення відповідної кількості засобу у водопровідній воді кімнатної температури.

Для миття обладнання за допомогою СІР-мийки та дезінфекції стін, підлоги, вікон та дверей готують 0,3 % розчин «Гуасепт». Для цього необхідно взяти 30 мл його концентрату і розчинити у 9970 мл водопровідної води, перенести у 15 л збірник та перемішати 2 хв.

ДР 1.3. Підготовка приміщень

Виробничі приміщення повинні мати між собою технологічний зв'язок і розташовуватися за ходом технологічного процесу, не допускаючи перехрещення потоків сировини та готових виробів, чистого та використаного посуду, а також повинні бути створені відповідні умови для дотримання виробничої та особистої гігієни працюючим персоналом.

Підготовку приміщень проводять після кожної зміни в наступній

послідовності [101]:

- в процесі роботи в разі необхідності видаляють виробничі відходи;
- прибирають розсипані порошки та інші речовини і механічні забруднення, витирають пролиті рідини, а в разі необхідності, застосовують засоби для обезжирення;
- вносять в приміщення необхідний прибиральний інвентар, матеріали і теплу воду з мийним засобом в кількості, що необхідна для одного прибирання;
- проводять вологе прибирання в приміщенні, столи та інші поверхні приміщення миють поролоною губкою, яка добре змочена розчином мийного засобу, із розрахунку 100–150 мл/м², потім промивають теплою водою, висушують або витирають досуха, проводять дезобробку;
- проводять миття стін, які зроблені зі скла, так як біосинтез спіруліни проходить в теплиці, миють теплою водою з мийним засобом, потім промивають водою очищеною і витирають насухо;
- проводять підготовку технологічного обладнання та інвентарю.

ДР 1.3.1. Щоденне прибирання виробничих приміщень

Проводять миття підлоги всієї ділянки («Гуасепт» 0,3 %), очищення та дезінфекційну обробку каналізаційної системи, а також виконують усі заходи щоденної підготовки.

ДР 1.3.2. Генеральне прибирання

Генеральне прибирання приміщень проводять 1 раз на місяць або негайно на вимогу бактеріолога у випадку виявлення мікробної контамінації. Для обробки використовують миючий розчин зі складу. Перед обробкою знеструмлюють все обладнання та електроприлади. Стелю, стіни, двері, вікна, перегородки та обладнання обробляють шляхом зрошення із гідропульта де міститься робочий розчин «Гуасепт» з концентрацією 0,3%. Після закінчення зрошення приміщення закривають на 30–40 хвилин, після чого залишки миючого розчину видаляють шляхом протирання чистою безворсовою серветкою. Для знезараження повітря після генерального прибирання вмикають бактерицидні лампи на 1–1,5 год. Проводиться прибирання і наведення порядку в шафах, стелажах.

ДР 1.4. Підготовка технологічного обладнання і комунікацій

Обладнання та комунікації потрібно мити перед кожним виробничим циклом. Перед початком підготовки відключають від електричного струму обладнання та електроприлади. Видаляють механічні забруднення за допомогою щіток, лопаток чи вологої серветки і пил із зовнішніх та внутрішніх поверхонь обладнання, при необхідності використовують засоби для знежирення.

ДР 1.4.1. Технічний огляд

Огляд обладнання та комунікацій здійснюють з метою виявлення нещільностей в комунікаціях та запірній арматурі на обладнанні. У разі виявлення нещільностей здійснюють підтягування різьбових з'єднань.

ДР 1.4.2. Миття обладнання

Реактори -змішувачі в яких готуються середовище для культивування миють попередньо підготовленим 1 % розчином каустичної соди при температурі 50–60°C. Для цього реактори-змішувачі заповнюють на 50 % миючим засобом та вмикають перемішуючий пристрій (10 – 150 об /хв). Миття триває 1 – 2 години.

Відпрацьований розчин передають на стадію знешкодження відходів. Після миття проводять ополіскування апарата питною водою кімнатної температури.

ДР 1.4.3. Ополіскування обладнання

Після миття обладнання його необхідно ополоснути, для цього необхідно промити все обладнання водою при температурі 20-30°C за допомогою СІР -мийки протягом 3 хв.

ДР 1.4.4. Перевірка на герметичність

Перевірку на герметичність проводять подаючи стиснене повітря, яке створює надлишковий тиск. Для цього на апараті закривають усю запірну арматуру і подають аераційне повітря до набору надлишкового тиску $P = 0,1 - 0,2$ МПа. Перекривають вентиль подачі повітря і фіксують покази манометра на кришці апарату та час витримки (30–60 хв) в операційному журналі. Якщо падіння тиску не перевищує 0,01 МПа, вважається, що апарат герметичний. В іншому випадку здійснюють пошук нещільностей на апараті та у місцях з'єднання запірної арматури з комунікаціями за допомогою «омилування» місць з'єднання.

Готують мильний розчин, резиною грушою обприскують всі місця з'єднань. У разі появи в місцях обприскування дрібних мильних бульбашок фіксують це місце і здійснюють підтягування різьбового з'єднання. Якщо ця операція не дала позитивного результату, міняють прокладку і операцію «омилювання» повторюють. Процес здійснюють до ліквідації усіх виявлених нещільностей.

ДР 1.4.5. Підготовка фотобіореактора до виробничого культивування

Процес миття фотобіореактора здійснюватиметься промиванням 0,3% розчином «Гуасепт» за допомогою СІР- мийки, який циркулює по об'єму всього біореактора протягом 20 хв, після чого розчин повертається у резервуар СІР-мийки. Для видалення залишків «Гуасепту» фотобіореактор промивають тричі дистильованою водою по 3 хв, яка подається з іншого резервуару СІР-мийки. Цю операцію повторюють тричі, після чого робочу область та відповідні датчики стерилізують за рахунок бактерицидної лампи протягом двох годин і знову промивають дистильованою водою.

ДР 2. Приготування поживного середовища

При вирощуванні мікробіодоростей необхідно вводити у фотореактор поживні речовини у кількості, що забезпечує необхідний приріст біомаси. При цьому концентрація солей не повинна перевищувати раціональну, оскільки як надлишок, так і нестача негативно впливають на приріст біомаси та можуть змінювати метаболізм клітин.

ДР 2.1. Приготування розчину мікроелементів для вирощування інокуляту та біосинтезу спіруліни

На даному етапі зважаючи на малі концентрації мікроелементів, що входять до поживного середовища Зарукка, даний розчин для зручності будемо готувати в перерахунку на всі стадії вирощування інокуляту та промислового культивування.

Розрахунок необхідних кількостей мікроелементів для приготування середовища для вирощування інокуляту та промислового культивування *Spirulina platensis* наведено в табл.5.5 та табл.5.6 (розділ 5). Дані розрахунків заокруглено для практичної зручності.

ДР 2.1.1. Приготування розчину мікроелементів в колбі

На лабораторних вагах з точністю до 2 знака у відтарованому мірному стакані об'ємом 100 мл зважують 0,33 г $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0,03 г $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ та 0,12 г Cu_2SO_4 , 4,29 г H_3BO_3 , 2,7 г $\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, після кожного зважування стакан з наважками відтаровують.

Отримані наважки розчиняють у колбі 2 л з додаванням 1493 мл дистильованої води. Ретельно перемішують круговими рухами до повного розчинення. Отриманий розчин подають на відповідні стадії.

ДР 2.1.2. Приготування розчину мікроелементів в реакторі-змішувачі

На технічних вагах у відтарованому мірному стакані об'ємом 500 мл зважують 21,45 г H_3BO_3 , 13,5 г $\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, 1,65 г $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0,15 г $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ та 0,6 г Cu_2SO_4 , після кожного зважування стакан з наважками відтаровують.

Отримані наважки розчиняють у колбі 500 мл з додаванням 163 мл дистильованої води і переносять у реактор змішувач (Р-1) об'ємом 10 л, додають об'ємним дозатором (Д-2) 7,34 л дистильованої води, ретельно перемішують. Отриманий розчин самоплином подать до фотобіореактора для виробничого культивування (Ф-28).

ДР 2.2. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту в колбах

Для вирощування інокуляту об'ємом 1,16 л необхідно приготувати 0,97 л поживного середовища. Вміст компонентів для приготування 0,97 л середовища наведено в табл. 5.7 (розділ 5). Дані розрахунків заокруглено для практичної зручності.

ДР 2.2.1. Приготування розчину макроелементів

На технічних вагах у відтарованому мірному стакані об'ємом 200 мл зважують 16,3 г NaHCO_3 та 2,43 г NaNO_3 . Потім на лабораторних вагах з точністю до 2 знака у відтарованому мірному стакані об'ємом 100 мл зважують 0,24 г KH_2PO_4 , 0,19 г $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0,08 г Na_2EDTA , 0,01 г $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0,04 г CaCl_2 , 0,97 г NaCl , 0,97 г K_2SO_4 . Отримані наважки переносять у колбу об'ємом 1 л та додають мірним циліндром дистильовану воду об'ємом 950 мл, перемішують до повного розчинення.

ДР 2.3. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 8 л.

Для отримання 6,94 л інокуляту необхідно приготувати 5,78 л середовища. Вміст компонентів для приготування 5,78 л середовища наведено в табл. 5.8 (розділ 5). Дані розрахунків заокруглено для практичної зручності.

ДР 2.3.1. Приготування розчину макроелементів

На технічних вагах у відтарованому мірному стакані об'ємом 200 мл зважують 97,10 г NaHCO_3 , 14,45 г NaNO_3 , 5,78 г K_2SO_4 , та 5,78 г NaCl . Потім на лабораторних вагах з точністю до 2 знака у відтарованому мірному стакані об'ємом 100 мл зважують 1,45 г KH_2PO_4 , 1,16 г $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0,46 г Na_2EDTA , 0,06 г $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0,23 г CaCl_2 . Наважки переносять у реактор–змішувач (Р-3) об'ємом 10 л, додають об'ємним дозатором (Д-4) 5,648 л води дистильованої, вмикають перемішуючий пристрій до повного розчинення компонентів та переливають вміст самоплином у фотобіореактор (Ф-5) об'ємом 8 л.

ДР 2.4. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 50 л

Для отримання 41,67 л інокуляту необхідно приготувати 34,73 л середовища. Вміст компонентів для приготування 34,73 л середовища наведено в табл. 5.9 (розділ 5). Дані розрахунків заокруглено для практичної зручності.

ДР 2.4.1. Приготування розчину макроелементів

На технічних вагах у відтарованому мірному стакані об'ємом 1000 мл зважують 8,68 г KH_2PO_4 , 86,83 г NaNO_3 , 34,73 г K_2SO_4 , 34,73 г NaCl , 1,39 г CaCl_2 , 2,78 г Na_2EDTA , 583,46 г NaHCO_3 та 6,95 г $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. На лабораторних вагах з точністю до 2 знака у відтарованому мірному стакані об'ємом 100 мл зважують 0,35 г $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. Наважки переносять у реактор–змішувач (Р-8) об'ємом 50 л, додають об'ємним дозатором (Д-7) 33,935 л води дистильованої, вмикають перемішуючий пристрій до повного розчинення компонентів і перекачують за допомогою насоса (Н-9) у фотобіореактор (Ф-10) об'ємом 50 л.

ДР 2.5. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 300 л

Для отримання 0,25 м³ інокуляту необхідно приготувати 208,33 л середовища. Вміст компонентів для приготування 208,33 л середовища наведено в табл. 5.10 (розділ 5). Дані розрахунків заокруглено для практичної зручності.

ДР 2.5.1. Приготування розчину макроелементів

На технічних вагах у відтарованому мірному стакані об'ємом 500 мл зважують 52,08 г KH_2PO_4 , 8,33 г CaCl_2 , 16,67 г Na_2EDTA , 2,08 г $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ та 41,67 г $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. Далі ваговим дозатором (Д-12) зважують 3499,94 г NaHCO_3 , 520,83 г NaNO_3 , 208,33 г K_2SO_4 , NaCl 208,33 г. Потім наважки переносять у реактор–змішувач (Р-14) об'ємом 300 л, додають об'ємним дозатором (Д-13) 203,563 л води дистильованої, вмикають перемішуючий пристрій до повного розчинення компонентів і перекачують за допомогою насоса (Н-15) у фотобіореактор (Ф-16) об'ємом 300 л.

ДР 2.6. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 1,8 м³

Для отримання 1,5 м³ інокуляту необхідно приготувати 1,25 м³ середовища. Вміст компонентів для приготування 1,25 м³ середовища наведено в табл. 5.11 (розділ 5). Дані розрахунків заокруглено для практичної зручності.

ДР 2.6.1. Приготування розчину макроелементів

На технічних вагах у відтарованому мірному стакані об'ємом 200 мл зважують 50 г CaCl_2 та 12,5 г $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. Далі ваговим дозатором (Д-18) зважують 312,5 г KH_2PO_4 , 21 кг NaHCO_3 , 3,125 кг NaNO_3 , 1,250 кг K_2SO_4 , 1,250 кг NaCl , 100 г Na_2EDTA , 250 г $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. Наважки переносять у реактор–змішувач (Р-20) об'ємом 2 м³, додають об'ємним дозатором (Д-19) 1221,4 л води дистильованої, вмикають перемішуючий пристрій до повного розчинення компонентів і перекачують за допомогою насоса (Н-21) у фотобіореактор (Ф -22) об'ємом 1,8 м³.

ДР 2.7. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 10 м³

Для виробничого біосинтезу необхідно приготувати 7500 л середовища. Вміст

компонентів для приготування 7500 л середовища наведено в табл. 5.12 (розділ 5). Дані розрахунків заокруглено для практичної зручності.

ДР 2.7.1. Приготування розчину макроелементів

На технічних вагах у відтарованому мірному стакані об'ємом 200 мл зважують 75 г $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$. Ваговим дозатором (Д-24) зважують 126 кг NaHCO_3 , 18,75 кг NaNO_3 , 7,5 кг K_2SO_4 , 7,5 кг NaCl , 1,875 кг KH_2PO_4 , 600 г Na_2EDTA , 1,5 кг $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ та 300 г CaCl_2 . Наважки переносять у реактор–змішувач (Р-26) об'ємом 10 м^3 , додають об'ємним дозатором (Д-25) 7328,4 л води дистильованої, вмикають перемішуючий пристрій до повного розчинення компонентів і перекачують за допомогою насоса (Н-27) у фотобіореактор (Ф-28) об'ємом 10 м^3 .

ТП 3. Підготовка посівного матеріалу

ТП 3.1. Підтримання колекційної культури

Колекційну культуру *Spirulina platensis* зберігають у колбі Ерленмейера об'ємом 250 мл при температурі 17°C , з контрольованим циклом фотоперіодів 12-12 год світло/темрява. Інтенсивність світла складає 2500–3500 люкс, яка отримується за допомогою холодної білої флуоресцентної лампи. Пересіви здійснюють кожні 10-14 днів. Для пересівів використовують 10 мл минулої культури на 100 мл нового стерильного поживного середовища Заррука. Колби струшують 3-4 рази на день по 1-2 хвилині. Всі роботи з колекційною культурою проводяться строго в асептичних умовах [102, 103].

ТП 3.2. Одержання робочої культури

Колекційну культуру розсівають мікробіологічною петлею для отримання ізольованих колоній на чашки Петрі із середовищем Заррука і вирощують при температурі 30°C упродовж 5-6 діб при постійному освітленні інтенсивністю 57 Вт [102].

ТП 3.3. Вирощування інокуляту на агаризованих поживних середовищах

Отримані ізольовані колонії (від ТП 3.2) пересівають петлею в пробірки зі скошеним середовищем Заррука (одна ізольована колонія використовується для засіву однієї пробірки). В пробірки пересівають ізольовані колонії, що знаходяться на відстані не менше 1 см. Готуємо 2 пробірки, з розрахунку 1 пробірка на 1 колбу.

Температура культивування 30 °С, упродовж 5-6 діб при постійному освітленні інтенсивністю 57 Вт [102].

ТП 3.4. Вирощування інокуляту в колбах

Для вирощування посівного матеріалу об'ємом 1,16 л у колбу додають мірним циліндром готовий розчин макроелементів (від ДР 2.2.1) та піпетковим дозатором 0,97 мл готовий розчин мікроелементів (від ДР 2.1.1). Перемішують і розливають в 2 колби Ерленмейера об'ємом 750 мл.

У пробірку з робочою культурою *Spirulina platensis*, вирощену на середовищі Зарукка, вносять 10 мл фізіологічного розчину, суспендують клітини (змивають культуру), піпеткою відбирають одержану бактеріальну суспензію і вносять у колби з розлитим поживним середовищем.

Колби ставлять на вирощування, світловий період 12 годин день і 12 годин ніч інтенсивністю 57 Вт та при температурі 30 °С, величина рН на початку культивування дорівнює 8,0, вирощування припиняють через 32 доби. Після вирощування колбу передають на стадію вирощування інокуляту [102].

ТП 3.5. Вирощування культури у фотобіореакторі об'ємом 8 л

Для вирощування посівного матеріалу об'ємом 6,94 л використовують фотобіореактор об'ємом 8 л з об'ємом поживного середовища 5,78 л та посівним матеріалом 1,16 л.

У фотобіореактор (Ф-5) об'ємом 8 л переливають самоплином готовий розчин макроелементів (від ДР 2.3.1) та переносять піпетковим дозатором на 10000 мкл розчин мікроелементів об'ємом 5,78 мл (від ДР 2.1.1) в засівний бачок та вносять інокулят з колби під факелом (від ТП.3.4) та перемішують. У процесі культивування інтенсивність подачі культуральної рідини можуть змінювати, щоб уникнути прилипання клітин мікроводоростей до стінок реактора.

Культивування проводять при температурі 30 °С, величина рН на початку культивування дорівнює 8,0, вирощування припиняють при досягненні концентрації біомаси 3,59 г/л через 32 доби.

ТП 3.6. Вирощування культури у фотобіореакторі об'ємом 50 л

Для вирощування посівного матеріалу об'ємом 41,67 л використовують

фотобіореактор об'ємом 50 л з об'ємом поживного середовища 34,73 л та посівним матеріалом 6,94 л.

Для цього в фотобіореактор (Ф-10) об'ємом 50 л перекачують насосом (Н-9) розчин макроелементів (від ДР 2.4.1) та додають 34,73 мл розчину мікроелементів (від ДР 2.1.1) через засівну колбу, подають інокулянт за допомогою насоса (Н-6) з фотобіореактора (Ф -5) об'ємом 8 л (від ТП 3.5) та перемішують за допомогою перемішувального пристрою. У процесі культивування інтенсивність подачі культуральної рідини можуть змінювати, щоб уникнути прилипання клітин мікроводоростей до стінок реактора.

Температура культивування підтримується на рівні 30 °С, величина рН на початку культивування дорівнює 8,0, процес вирощування інокулянту припиняють при досягненні концентрації біомаси 3,59 г/л через 32 доби.

ТП 3.7. Вирощування культури у фотобіореакторі об'ємом 300 л

Для вирощування посівного матеріалу об'ємом 250 л використовують фотобіореактор об'ємом 300 л з об'ємом поживного середовища 208,33 л та

Для цього в фотобіореактор (Ф-16) об'ємом 300 л перекачують за допомогою насоса (Н -15) готовий розчин макроелементів (від ДР 2.5.1) та додають 208,33 мл розчину мікроелементів (від ДР 2.1.1), подають інокулянт за допомогою насоса (Н-11) з фотобіореактора (Ф-10) об'ємом 50 л (від ТП 3.6), перемішують за допомогою перемішувального пристрою. У процесі культивування інтенсивність подачі культуральної рідини можуть змінювати, щоб уникнути прилипання клітин мікроводоростей до стінок реактора.

Температура культивування підтримується на рівні 30 °С, величина рН на початку культивування дорівнює 8,0, процес вирощування інокулянту припиняють при досягненні концентрації біомаси 3,59 г/л через 32 доби.

ТП 3.8. Вирощування культури у фотобіореакторі об'ємом 1,8 м³

Для вирощування посівного матеріалу об'ємом 1,5 м³ використовують фотобіореактор об'ємом 1,8 м³ з об'ємом поживного середовища 1,25 м³ та посівним матеріалом 0,25 м³.

Для цього в фотобіореактор (Ф-22) об'ємом 1,8 м³ перекачують насосом (Н-

21) готовий розчин макроелементів (від ДР 2.6.1) та додають 1,25 л розчину мікроелементів (від ДР 2.1.1), подають інокулянт за допомогою насоса (Н-17) з фотобіореактора (Ф-16) об'ємом 300 л (від ТП 3.7), перемішують за допомогою перемішувача пристрою. У процесі культивування інтенсивність подачі культуральної рідини можуть змінювати, щоб уникнути прилипання клітин мікроводоростей до стінок реактора.

Температура культивування підтримується на рівні 30 °С, величина рН на початку культивування дорівнює 8,0, процес вирощування інокулянту припиняють при досягненні концентрації біомаси 3,59 г/л через 32 доби.

ТП 4. Виробничий біосинтез біомаси спіруліни

ТП 4.1. Виробничий біосинтез

Вирощування *Spirulina platensis* проводять у трубчастому фотобіореакторі проточного типу, з робочим об'ємом культуральної рідини 9 м³.

В спеціальний збірник об'ємом 10 м³, що входить до біореактора перекачують насосом (Н -27) готовий розчин макроелементів (від ДР 2.7.1), додають самоплином від реактора-змішувача (Р-1) розчин мікроелементів (від ДР 2.1.2), подають інокулянт за допомогою насоса (Н-23) з фотобіореактора (Ф-22) об'ємом 1,8 м³ (від ТП 3.8) та перемішують за допомогою перемішувача пристрою.

У процесі культивування інтенсивність циркуляції культуральної рідини можуть змінювати, щоб уникнути прилипання клітин мікроводоростей до стінок реактора. Температура культивування підтримується на рівні 30 °С, величина рН на початку культивування дорівнює 8,0. Культивування припиняють після досягнення концентрації біомаси 3,59 г/л через 32 доби [103].

По закінченню терміну культивування вміст фотобіореактора (Ф-28) направляють на стадію виділення.

ЗВ 5. Знешкодження відходів

ЗВ 5.1 Знешкодження рідких відходів

Рідкі відходи збирають у каналізаційний колектор та направляють на біологічне очищення забруднених вод, саме на біофільтр.

ЗВ 5.2 Знешкодження газоподібних викидів

Газоподібні відходи направляються на очищення через фільтр який встановлений безпосередньо на фотобіореакторі.

ЗВ 5.3. Знешкодження твердих відходів

Тверді відходи після сортування передають спеціалізованим організаціям на утилізацію.

РОЗДІЛ 8. КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА

8.1. Карта постадійного контролю доферментаційних процесів

Згідно науково-технічної документації на підприємстві забезпечується контроль процесу виробництва спіруліни та контроль готової продукції. Це здійснюється для забезпечення відповідності готової продукції вимогам.

Протягом процесу культивування періодично (кожні 8 год) відбирають проби культуральної рідини для мікробіологічного контролю, проводять визначення концентрації біомаси і цільового продукту, вмісту джерела азоту (натрій нітрат) [102].

Технологічний контроль виробництва полягає у постійному визначенні та регуляції основних параметрів процесів. Контроль здійснюється за допомогою вимірювальних приладів.

Постадійний контроль доферментаційних процесів виробництва спіруліни представлено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Карта постадійного контролю виробництва спіруліни

<i>Номер контрольної точки та назва стадії</i>	<i>Об'єкт контролю та показник, що визначається</i>	<i>Засоби та методи контролю</i>	<i>Періодичність перевірки та відбору проб</i>	<i>Нормативні значення показника</i>
1	2	3	4	5
ДР 1. Приготування поживного середовища				
<i>ДР 1.1. Приготування розчину мікроелементів для вирощування інокуляту та біосинтезу спіруліни</i>				
Кт 1.1.1. Приготування розчину мікроелементів	Розчин мікроелементів, повнота розчинення	Візуальний метод	Розчиняють до повного розчинення	
Кт 1.1.2. Приготування розчину мікроелементів	Розчин мікроелементів, повнота розчинення, температура	Візуальний метод, термометр	Розчиняють до повного розчинення	w=80 об/хв t = 30 °C

					НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	РОЗДІЛ 8. КОНТРОЛЬ ВИРОБНИЦТВА			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Розроб.	Заярнюк З.В.							104	147	
Перевір.	Резніченко Ю.М.							Кафедра БТМ		
Консультант										
Н. Контр.										
Затверд.	Стабніков В.П.									

<i>ДР 1.2. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту в колбах</i>					
Кт Приготування розчину макроелементів	1.2.1. Розчин основних солей, повнота розчинення, температура	Візуальний метод, термометр технічний	Розчиняють до повного розчинення	до	w=80 об/хв t = 30 °C
<i>ДР 1.3. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 8 л.</i>					
Кт Приготування розчину макроелементів	1.3.1. Розчин основних солей, повнота розчинення, температура	Візуальний метод, термометр технічний	Розчиняють до повного розчинення	до	w=80 об/хв t = 30 °C
<i>ДР 1.4 Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 50 л.</i>					
Кт Приготування розчину макроелементів	1.4.1. Розчин основних солей, повнота розчинення, температура	Візуальний метод, термометр технічний	Розчиняють до повного розчинення	до	w=80 об/хв t = 30 °C
<i>ДР 1.5 Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 300 л</i>					
Кт Приготування розчину макроелементів	1.5.1. Розчин основних солей, повнота розчинення, температура	Візуальний метод, термометр технічний	Розчиняють до повного розчинення	до	w=80 об/хв t = 30 °C
<i>ДР 1.6 Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 1,8 м3</i>					
Кт Приготування розчину макроелементів	1.6.1. Розчин основних солей, повнота розчинення, температура	Візуальний метод, термометр технічний	Розчиняють до повного розчинення	до повного	w=80 об /хв t = 30 °C
<i>ДР 1.7. Приготування поживного середовища для вирощування інокуляту у фотобіореакторі об'ємом 10 м3</i>					
Кт Приготування розчину макроелементів	1.7.1. Розчин основних солей, повнота розчинення, температура	Візуальний метод, термометр технічний	Розчиняють до повного розчинення	до повного	w=80 об /хв t = 30 °C
ТП 2. Підготовка посівного матеріалу					
Кт, 2.1. Підтримання колекційної культури	Км Колекційна культура, температура, освітленість, частота пересівів, мікробіологічна чистота	Термометр технічний, люксметр, годинник, мікробіологіч ний контроль	Температура протягом зберігання, освітленість(безперерв но). Цикли фотоперіодів 12- 12 год світло/темрява. Частота пересівів. Мікробіологічна чистота після вирощування культури. Струшування колб 3-4 р/день по 1-2 хв.		t = 17 °C E= 2500-3500 Лк T _{пересівів} =10- 14 діб відсутність сторонньої мікробіоти

Кт, Км 2.2. Одержання робочої культури	Колекційна культура, температура, освітленість, тривалість вирощування, мікробіологічна чистота.	Термометр технічний, ватметр, годинник, мікробіологіч ий контроль	Температура визначається під час вирощування, освітленість (безперервно). Мікробіологічна чистота після вирощування культури.	t = 30 °C E= 57 Вт T=5-6 діб відсутність сторонньої мікробіоти
Кт, Км 2.3.Вирощування інокуляту на агаризованих поживних середовищах	Робоча культура, температура, освітленість, тривалість вирощування, мікробіологічна чистота.	Термометр технічний, ватметр, годинник, мікробіологіч ий контроль	Температура визначається під час вирощування, освітленість (безперервно). Мікробіологічна чистота після вирощування культури.	t = 30 °C E= 57 Вт T=5-6 діб відсутність сторонньої мікробіоти
Кт, Км, Кх 2.4. Вирощування інокуляту в колбах	Посівний матеріал, освітленість, рН, тривалість культивування, мікробіологічна чистота, концентрація біомаси.	Термометр, ватметр, рН- метр, годинник технічний, мікробіологіч ий контроль, спектрофотом етр,	Температура, освітленість, під час культивування. Кислотність вимірюється на початку культивування. Мікробіологічна чистота визначається після вирощування культури в колбах. Відбір проб культуральної рідини – кожні 8 год.	t = 30 °C E= 57 Вт рН= 8 С=3,59 г/л T=32 доби відсутність сторонньої мікробіоти
Кт, Км, Кх 2.5. Вирощування культури у фотобіореакторі об'ємом 8 л.	Посівний матеріал, температура, рН, тривалість культивування, мікробіологічна чистота, концентрація біомаси.	Датчик рН та температури, спектрофотом етр, ватметр, годинник	Температура вимірюється автоматично. Кислотність вимірюється на початку культивування. Відбір проб культуральної рідини – кожні 8 год. Мікробіологічний контроль та концентрація біомаси і білку визначаються під час вирощування інокуляту в посівному апараті і в кінці процесу.	t = 30 °C рН= 8 С=3,59 г/л T=32 доби відсутність сторонньої мікробіоти

Кт, Км, Кх 2.6. Вирощування культури у фотобіореакторі об'ємом 50 л	Посівний матеріал, температура, рН, тривалість культивування, мікробіологічна чистота, концентрація біомаси.	Датчик рН та температури, спектрофотометр, ватметр, годинник	Температура вимірюється автоматично. Кислотність вимірюється на початку культивування. Відбір проб культуральної рідини – кожні 8 год. Мікробіологічний контроль та концентрація біомаси і білку визначаються під час вирощування інокуляту в посівному апараті і в кінці процесу.	t = 30 °C рН= 8 C=3,59 г /л T=32 доби відсутність сторонньої мікробіоти
Кт, Км, Кх 2.7. Вирощування культури у фотобіореакторі об'ємом 300 л	Посівний матеріал, температура, рН, тривалість культивування, мікробіологічна чистота, концентрація біомаси.	Датчик рН та температури, спектрофотометр, ватметр, годинник	Температура вимірюється автоматично. Кислотність вимірюється на початку культивування. Відбір проб культуральної рідини – кожні 8 год. Мікробіологічний контроль та концентрація біомаси і білку визначаються під час вирощування інокуляту в посівному апараті і в кінці процесу.	t = 30 °C рН= 8 C=3,59 г/л T=32 доби відсутність сторонньої мікробіоти

Кт, Км, Кх 2.8. Вирощування культури у фотобіореакторі об'ємом 1,8 м ³	Посівний матеріал, температура, рН, тривалість культивування, мікробіологічна чистота, концентрація біомаси.	Датчик рН та температури, спектрофотометр, ватметр, годинник	Температура вимірюється автоматично. Кислотність вимірюється на початку культивування. Відбір проб культуральної рідини – кожні 8 год. Мікробіологічний контроль та концентрація біомаси і білку визначаються під час вирощування інокуляту в посівному апараті і в кінці процесу.	t = 30 °C рН= 8 C=3,59 г/л T=32 доби відсутність сторонньої мікробіоти
ТП 3. Виробничий біосинтез біомаси спіруліни				
Кх, Кт, Км 3.1. Виробничий біосинтез	Культуральна рідина, температура, рН, тривалість культивування, мікробіологічна чистота, концентрація біомаси та білку.	Датчик рН та температури, спектрофотометр, ватметр, годинник	Температура вимірюється автоматично. Кислотність вимірюється на початку культивування. Відбір проб культуральної рідини – кожні 8 год. Мікробіологічний контроль та концентрація біомаси і білку визначаються під час вирощування інокуляту в посівному апараті і в кінці процесу.	t = 30 °C рН= 8 C=3,59 г /л T=32 доби відсутність сторонньої мікробіоти

8.2. Мікробіологічний контроль

Мікробіологічний контроль проводять за допомогою методу мікроскопіювання, щоб пересвідчитись що під час культивування на поживному середовищі не виросла стороння мікрофлора. Для даних умов та складу поживного середовища потенційною сторонньою мікрофлорою є інша мікроводорість – *Chlorella*. Вона має характерні морфологічні ознаки, а саме: менший розмір та кругла форма клітин, які дозволяють відрізнити її від *Spirulina platensis*.

Для спостереження за формуванням мікрowodоростей, за їх розміром та для підрахунку клітин застосовують метод мікроскопії. Для мікроскопіювання використовують препарат «роздавлена крапля».

Приготування препарату «роздавлена крапля». Препарат готується на знежиреному склі, на яке наносять маленьку краплю дистильованої води. З дотримання правил асептики бактеріологічною петлею у воду вносять невелику кількість культуральної рідини, розмішують і накривають покривним скельцем. Мікроскопіювання здійснюють без імерсії збільшенням $\times 40$ [49, 103].

При відсутності у зразку сторонньої мікрофлори можна побачити клітини *Spirulina platensis*. Клітини мають ниткоподібну форму, вони є грамнегативними ціанобактеріями, які можна розпізнати за основною морфологічною ознакою роду: розташуванням багатоклітинних циліндричних трихомів у відкритій лівій спіралі по всій довжині (Рис. 8.1) [104].

Верхівкові клітини можуть бути широко округлими або загостреними, а також можуть бути головчастими. Ширина трихом, коливається приблизно від 6 до 12 мкм (16 мкм) у різноманітних формах.

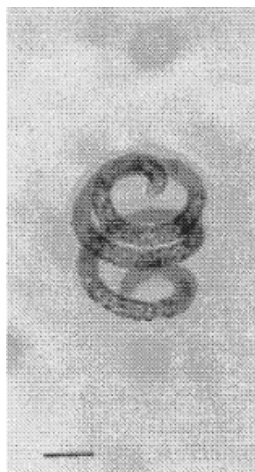


Рис. 8.1.Світлова мікрофотографія *S. Platensis* [27]

Вільно плаваючі нитки як *S. platensis* щільно гранульовані на поперечних стінках через наявність газових вакуолей (аеротопів). Тонка оболонка, невидима під світловим мікроскопом, огортає трихоми. Для *S. platensis* характерні короткі трихоми, як правило, з 5–7 витків [27].

При культивуванні *Spirulina platensis* на живильному середовищі Зарукка через

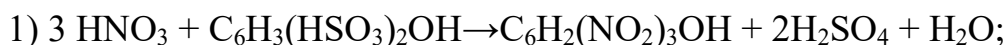
14 -діб утворюються непрозорі, зелені, колонії [105].

8.3. Контроль концентрації джерел вуглецевого і азотного живлення

8.3.1. Концентрація джерела азоту

Джерелом азоту в середовищі для культивування мікроводоростей виступає натрій нітрат, який входить до складу середовища Зарукка. Концентрацію NaNO_3 визначають у супернатанті, який одержаний центрифугуванням культуральної рідини.

Визначення нітратів в середовищі проводять методом Грандваль-Ляжу, який ґрунтується на взаємодії нітратів з дисульфофеноловою кислотою з утворенням тринітрофеноляту (пікринової кислоти), який в лужному середовищі набуває жовтого забарвлення, за рахунок утворення тринітрофеноляту калію в кількості еквівалентній вмісту нітратів [106, 107].



Прилади і реактиви.

- Фотоелектроколориметр,
- дисульфофенолова кислота (3 г фенолу змішують з 20,1 мл H_2SO_4 густиною $1,84 \text{ г/см}^3$ у колбі з паровідвідною трубкою, яка є холодильником. Розчин нагрівають на киплячій водяній бані протягом 6 год., періодично помішуючи),
- зразковий розчин на нітрати (0,3612 г KNO_3 кількісно переносять у мірну колбу на 1 л і доводять водою до риски. 50 мл розчину переносять у мірну колбу на 500 мл і доводять водою до риски. 1 мл розчину містить 0,0026 мг азоту або 0,01 мг NO_3),
- алюмокалієвий галун,
- 20%-вий розчин їдкого натру.

Методика визначення: 20 г суспензії мікроводоростей поміщають в колбу 250 мл, туди ж наливають 100 мл дистильованої води, збовтують 3 хв і фільтрують через складчастий фільтр. Піпеткою беруть 25 -50 мл фільтрату в порцелянову чашку і випарюють насухо на водяній бані. В охолоджену чашку по краплях з піпетки додають 1 мл дисульфофенолової кислоти, змочуючи залишок на чашці. Залишок

ретельно розтирають скляною паличкою. Залишають на 10 хв. Потім піпеткою додають 15 мл дистильованої води, перемішують і доводять до лужної реакції, додаючи КОН. Рідина при цьому забарвлюється в жовтий колір [106, 107].

Луг перестають додавати, коли рідина набуває стійкого забарвлення або лакмусовий папірець посиніє. Забарвлений розчин переносять в мірну колбу на 50 мл. Об'єм рідини водою доводять до мітки. Колбу збовтують. Визначають оптичну густину на фотоколориметрі з синім світлофільтром (420 нм).

Знаючи вміст нітратів у зразкові та оптичну густину, будують калібрувальний графік, після чого розраховують вміст нітратів у продукті за формулою:

$$\text{Вміст NO}_3 = (a \times P \times 100 \times K) / H$$

де: а – вміст нітратів за графіком; Р – розведення ; 100 – перерахунок на 100 г продукту; К – коефіцієнт вологості; Н- наважка [106].

8.3.2. Концентрація джерела вуглецю

Джерелом вуглецю в середовищі для культивування спіруліни є натрій гідрокарбонат. Концентрацію гідрокарбонату у середовищі визначають потенціометричним методом у пробі яка попередньо піддається центрифугуванню [108].

Метод заснований на встановленні кінцевої точки титрування за найбільшою зміною величини рН, що фіксується за допомогою скляного електрода.

Прилади і реактиви:

- Прилад для вимірювання величини рН типу рН-метр-мілівольтметр (рН-340, рН-121) або іономер ЕВ-74.
- Електрод порівняння хлор-срібний насичений зразковий 2-го розряду.
- Скляний електрод типу ЕСЛ.
- Мішалка магнітна ММ -3.
- Ваги технічні типу ВЛТ-200.
- Прилади мірні лабораторні скляні місткістю: піпетки 10, 25, 50, 100 см³; бюретки 25 см³.
- Колби мірні лабораторні, місткістю:100, 500, 1000 см³.
- Склянки лабораторні місткістю 150 см³ (діаметр склянки 60-70 мм, висота 70-

75 мм).

- Папір фільтрувальний.
- Кислота соляна фіксапал, 0,1 в. розчин.
- Вода дистильована.

Підготовка до аналізу:

Приготування 0,02 н. розчину соляної кислоти: у мірну колбу місткістю 500 см³ відміряють 100 см³ 0,1 н. розчину соляної кислоти, додають до мітки дистильовану воду, закривають колбу пробкою та перемішують.

Методика визначення:

У склянку місткістю 150 см³ відміряють від 1 до 100 см³ культуральної рідини (V₁) з таким розрахунком, щоб у ній містилося від 5 до 120 мг гідрокарбонат-іонів, доливають дистильованою водою до 100 см³ (якщо відміряна проба становила менше 100 см³). У розчин занурюють скляний електрод і наконечник електrolітичного ключа. Титрування ведуть 0,1 н. або 0,02 н. (при вмісті в пробі менше 10 мг гідрокарбонат-іонів) розчином НС1 із звичайної бюретки з ціною поділки не більше 0,1 см³, перемішуючи титруємий розчин магнітною мішалкою.

Спочатку проводять орієнтовне титрування для визначення приблизного положення еквівалентної точки. Для цього розчин титранту додають порціями по 0,5-1,0 см³ і після додавання кожної порції знімають показання приладу (величину рН). Спочатку величина рН змінюється незначно, проте поблизу еквівалентної точки спостерігається різкий стрибок рН.

Після стрибка рН додають ще 2-3 порції титранта і орієнтовне титрування закінчують. Фіксують обсяги титранта (V₂) та (V₃), при яких спостерігалася максимальна зміна рН за формулою:

$$\Delta pH_{max} = pHV_2 - pHV_3$$

Наступне, точне титрування проводять поблизу еквівалентної точки, але, починаючи з об'єму V₂, титрант додають краплями і знову по максимальному стрибку рН визначають обсяг титранту.

Масову концентрацію гідрокарбонат-іонів обчислюють за формулою:

$$\Delta pH_{\square} = pHV_n - pHV_{n+1}$$

За остаточний результат приймають середнє арифметичне двох паралельних визначень, допустимі розбіжності між якими не повинні перевищувати 1,0—1,5 % для вод із вмістом гідрокарбонат-іонів більше 100 мг/дм³ та 2 % — для вод, що містять менше 100 мг/дм³ гідрокарбонат -іонів [108].

8.4. Показники росту і синтезу цільового продукту

8.4.1. Концентрація біомаси

Біомаса визначалася гравіметрично. Цей метод використовується для оцінки зростання мікроорганізмів у рідких середовищах [103].

Для визначення біомаси проводять три послідовні операції: доводять масу центрифужної пробірки до постійного значення; відділяють клітини від культуральної рідини через фільтри, промивають та визначають їхню масу. Біомаса виявляється у грамах та міліграмах на літр культуральної води [109].

Хід виконання роботи:

Виділення клітин центрифугуванням або фільтрацією

Доведення маси пробірок до постійного значення. З цією метою фільтри, заздалегідь встановлені у центрифужні пробірки поміщують в сушильну шафу і висушують протягом 1-2 год при температурі 80-85°C і 90-100°C відповідно. Потім чашку Петрі з фільтрами або центрифужні пробірки виймають з сушильної шафи і переносять в ексикатор з безводним хлористим кальцієм (CaCl₂) або концентрованою сірчаною кислотою. Ексикатор ставлять біля аналітичних вагів, на яких проводитиметься зважування. За годину фільтри (центрифужні пробірки) зважують з точністю до 0,0001 г. Висушування і зважування повторюють, дотримуючи вказану послідовність операцій, поки маса не досягне постійного значення, тобто коливання в її визначеннях не перевищать ± 0,0001 г [103].

Виділення клітин від середовища можливо здійснити завдяки фільтруванню або центрифугуванню, для цього точно вимірний об'єм культуральної рідини 5-10 мл, фільтрують через фільтр. Підкисленою дистильованою водою промивають осад на фільтрі. Для того щоб зрозуміти, який фільтр використовувати, нам потрібно визначити біомасу клітини. Цей фільтр поміщають на пористу пластинку утримувача, вставленого в колбу. Для того щоб прискорити фільтрування, колбу

підключають до водоструменевого насосу. Осад кілька разів промивають підкисленою дистильованою водою [103].

Результати роботи:

Для того, щоб визначити кількість біомаси беруть центрифужну пробірку з осадом клітин поміщають в сушильну шафу, висушують і далі зважують. Режим висушування і зважування такий, який використовували і при визначенні маси пробірок або фільтрів.

Суху біомасу визначають по формулі:

$$M = \frac{(A - B)1000}{V}$$

де M – суха біомаса в г/л; A – маса центрифужної пробірки (фільтру) з осадом в г; B – маса центрифужної пробірки (фільтру) без осаду в г;

V – об'єм культуральної рідини, узятий для центрифугування (фільтрування) в мл.

Точність методу визначається повнотою відмивання клітин від компонентів середовища і ретельністю зважування [103, 109].

8.4.2. Концентрація білку

Широке застосування колориметричних методів для визначення кількісного вмісту білка у біологічних пробах зумовлено їх достатньою простотою та точністю. Помилки у результатах здебільшого виникають як наслідок того, що дослідний білок (або білки) різко відрізняються за своєю природою від білка-стандарту. Частіше в якості останнього використовують бичачий сироватковий альбумін (БСА) [103].

Метод Бредфорда

Аналіз Бредфорда використовується для вимірювання концентрації загального білка в зразку. Принцип цього аналізу полягає в тому, що зв'язування білкових молекул з барвником кумасі в кислих умовах призводить до зміни кольору з коричневого на синій. Цей метод фактично вимірює наявність основних амінокислотних залишків аргініну, лізину та гістидину, які сприяють утворенню білково-барвного комплексу [110, 111].

Отримані значення порівнюють з калібрувальною кривою, побудованою по білку з відомою концентрацією, найчастіше по бичачому сироватковому альбуміну (BCA).

Даний метод характеризується високою чутливістю (0,2 мкг), для нього характерна відносна швидкість проведення аналізу та відтворюваність результатів. Метод дозволяє визначити вміст білка в пробах з точністю від 0,5 до 50 мкг/мл і може бути застосований до білків, розчинених в електрофоретичному буфері, який містить ДСН, меркаптоетанол. Метод заснований на утворенні забарвлених комплексів кумасі діамантового блакитного G-250 з макромолекулами поліпептидів за рахунок електростатичних взаємодій. Максимум поглинання комплексу в видимій області не співпадає з максимумом поглинання для чистого барвника, що й дозволяє проводити кількісне вимірювання комплексів, які утворюються [110].

Матеріали та обладнання:

1. Бичачий сироватковий альбумін (BCA) (Sigma-Aldrich);
2. Культуральна рідина.
3. 1 М NaOH (використовувати, якщо зразки погано розчиняються в кольоровому реагенті)
4. Барвник Кумасі (Coomassie Brilliant Blue G-250 (Sigma-Aldrich, номер за каталогом: 27815));
5. Метанол;
6. Фосфорна кислота (H_3PO_4);
7. Реактив Бредфорда;
8. Спектрофотометр;
9. Кювети.

Хід аналізу:

Приготування розчину Кумасі: розчиняють 100 мг Coomassie Blue G250 у 50 мл 95 % етанолу. Потім розчин змішують зі 100 мл 85% фосфорної кислоти і доводять до 1 л дистильованою водою. Реактив фільтрують через фільтрувальний папір, а потім зберігають в бурштиновому флаконі при кімнатній температурі. Він стабільний протягом декількох тижнів. Однак протягом цього часу барвник може

випасти в осад, перед використанням необхідно процідити.

Пробопідготовка: культуральну рідину центрифугують, відділяючи біомасу від поживного середовища. До біомаси додають NaOH за об'ємом 1:1 М та перемішують[110, 111, 112].

До бичачого сироваткового альбуміну додають NaOH за об'ємом 1:1 М та перемішують[110].

До 0,2 мл отриманого зразка додають 2 мл розчину барвника, обережно перемішують. Через 2 хв. вимірюють оптичну густина при $\lambda = 595$ нм проти контролю. Вимірювання проводять у кюветі товщиною світлопоглинаючого шару 10 мм (об'єм 2 мл).

Кожна досліджувана проба містила: 0,01 мл досліджуваного розчину, 0,19 мл відповідного буферу і 2 мл реактиву Бредфорда. В якості контрольної використовували суміш наступного складу: 0,2 мл відповідного буферу та 2 мл реактиву Бредфорда. Вимірювання проводять через 5 хв. Після вимірювання кожної проби кювети сполоскують етиловим спиртом для того, щоб видалити барвник, який має здатність сорбуватися на стінках кювети.

Розраховують концентрацію білка за калібрувальною кривою, побудованою за БСА [112].

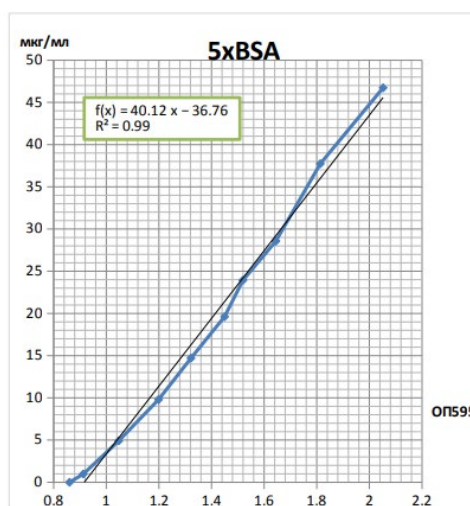


Рис.8.2. Приклад стандартної кривої, побудованої по БСА.

Вміст білка (мкг/мл), визначають з урахуванням розведення за формулою:

$$C = \frac{X \times R}{0,1}$$

де C – концентрація білка, мкг /мл; X – кількість білка у розведених зразках, знайдена за калібровочним графіком, мкг; R - розведення

Обладнання для проведення аналізу:

Спектрофотометр V-1200 є аналогом спектрофотометром ULAB 102, КФК-3 -01, ПЕ 5400, UNICO 2100 і UNICO 2150.

Це спектральний оптичний прилад, призначений для вимірювання коефіцієнта пропуску, оптичної щільності досліджуваних твердих та рідких проб при проведенні різних типів аналізів і обчислення оптичної щільності. Замінюють аналітичних лабораторіях різні профілі для визначення вмісту широкого спектру речовин у твердих і рідких пробах, а саме для аналізу води (, натуральна, стічна, технологічна), для технологічного контролю сировини та готової продукції різних галузей промисловості (харчова, хімічна, фармацевтична, металургійна, нафтохімічна і д.) та для інших аналітичних завдань.



Рис.8.3. Спектрофотометр V-1200

Відмінні особливості:

- Програмне встановлення довготривалих хвиль;
- Автоматичне встановлення темного струму під час зміни довжини хвилі;
- Підвищена стабільність результатів вимірів у порівнянні з поширеними аналогами;
- Режим множинного аналізу з будівництвом градусів за стандартними зразками або введенням коефіцієнтів
- Великий ЖК-дисплей (128x64);

- Збереження в пам'яті приладу до 50 груп даних і до 100 градусувих кривих [113].

Таблиця 8.2

Технічні характеристики спектрофотометра V-1200

Спектральний діапазон, нм	325- 1000
Спектральна ширина щілини, нм	4
Робоча довжина кювет, мм	5 – 100
Оптична схема	Однопромінювання
Детектор	Кремнієвий фотодіод
Світло	Галогічне
Монохроматор	Дифракційна решітка 1200 л/мм
Погрішність довжини хвилі, нм, не більше	± 2
Відтворення довжини хвиль, нм	0,8
Фотометричний діапазон: оптична щільність, А (коефіцієнт пропускання, Т%)	от -0,3 до 3,0 (от 0 до 200)
Тримач кювет	3-х позиційний (100 мм x 24 мм) стандарт КФК-3, (у комплекті); 4 -х позиційний (5 –100 мм x 12,5 мм), вказує додаткове
Фотометрична точність	±0.5 % Т
Дисплей	Графічний ЖК (128x64)
Цифровий вихід	USB Порт, Centronics
Габаритні розміри, мм	470x370x180
Вага, кг	12

8.5. Методи ідентифікації цільового продукту

Ідентифікація спіруліни може бути здійснена за допомогою органолептичного методу [114].

Органолептичний метод: ґрунтується на спостереженні і аналізі фізичних властивостей та характеристик продукту. Критерії, які можуть бути враховані при

органолептичній ідентифікації спіруліни:

1. Колір: зазвичай має характерний темно-зелений або синьо-зелений колір через наявність хлорофілу та інших пігментів. Колір може бути оцінений як візуально, так і за допомогою спектрофотометрії.
2. Запах: спіруліна може мати специфічний морський або рибний запах, який можна відчутти біля зразка.
3. Смак: на смак спіруліна нагадує морську капусту.

8.6. Визначення показників якості

Контроль вологовмісту препарату

Контроль вологовмісту в препараті здійснюється за допомогою вагового аналізатора вологості (рис.8.4). Для визначення вологості спіруліни необхідно зважити зразок у вихідному стані та порівняти з масою зразка у висушеному стані [115].



Рис.8.4. Ваги для визначення вологості MA 50.R

Прилад може працювати в ручному режимі та автоматичному режимі. В ручному режимі користувач самостійно задає температуру та час висушування зразка. В автоматичному режимі користувач задає лише температуру. Вимірювання завершується автоматично згідно запрограмованого алгоритму, коли маса зразка перестає знижуватися - випарувалася вся волога.

Вологість спіруліни повинна становити 8-10% [114].

Мікробіологічний контроль чистоти

Мікробіологічний контроль готової продукції здійснюють для того щоб пересвідчитись, що під час післяферментаційних процесів не було занесено сторонньої мікрофлори. Мікробіологічний контроль допомагає впевнитися, що

продукція відповідає встановленим стандартам і нормам безпеки.

Методика мікробіологічного контролю: 1 г препарату спіруліна розчиняють у 9 мл дистильованої води. Потім, 0,1 мл отриманої суспензії висівають на агаризовані середовища МПА – для виявлення бактерій та СА – для виявлення грибів та дріжджів.

Таблиця 8.3

Мікробіологічні показники препарату Спіруліна [116]:

Мікроорганізми	Показник норми	Нормативна документація
Патогенні мікроорганізми, в т.ч. сальмонели в 10 г	Не допускаються	ДСТУ EN 12824:2004
БГКП колі-форми в 0.1 г	Не допускаються	ГОСТ 30518 -97
МАФAM, КУО в 1 г не більше	1×10^4	ДСТУ 8446:2015
Дріжджі, КУО в 1 г не більше	1×10^2	ДСТУ 8447:2015
Плісневі гриби, КУО в 1 г не більше	1×10^2	ДСТУ 8447:2015
<i>E. coli</i> в 1 г	Не дозволяється	ДСТУ ISO 16649-2:2014
<i>S. aureus</i> в 1 г	Не дозволяється	ДСТУ ISO 6888-2:2003
<i>B. cereus</i> в 1 г	2×10^2	ГОСТ 10444.8

Визначення концентрації білку

Даний контроль проводять згідно методики визначення білку в спіруліні, що було зазначено вище (п.8.4.2). Відмінність в тому, що використовується не супернатант, а 1 г розчиненого препарату.

Визначення кількості хлорофілів та каротиноїдів

Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів здійснюють спектрофотометричним методом. Для виділення пігментів з спіруліни використовували етанол [104].

Методика кількісного визначення: 0,1 г (точна наважка) порошку спіруліни необхідно помістити в ступку і розтерти з невеликою кількістю магнію карбонату, додати на кінчику шпателя кварцового піску, 2–3 мл 96 % етанолу та ретельно розтирати протягом 2–3 хв [117].

Одержану витяжку зливають по скляній палочці на скляний фільтр № 3 (накритий кружечком фільтрувального паперу), а фільтрат збирають в колбу Бунзена, приєднану до водоструминного насоса. Екстракцію пігментів з спіруліни новими порціями екстрагенту здійснюють доти, доки фільтрат не знебарвлюється. Витяжку з колби Бунзена кількісно переносять в мірну колбу на 25 мл та доводять до необхідного об'єму 96 % етанолом [117].

Одержана витяжка містить суму зелених та жовтих пігментів. Для розрахунку концентрації хлорофілів а і b та каротиноїдів у витяжці визначають її оптичну густину спектрофотометрично (спектрофотометр OPTIZEN POP, Корея) за довжини хвилі, що відповідає максимумам спектра поглинання досліджуваних пігментів в даному розчиннику. Для хлорофілу а в 96 % етанолі максимум поглинання — $\lambda=665$ нм, для хлорофілу b — $\lambda=649$ нм. Каротиноїди визначають за довжини хвилі 441 нм. Розчином порівняння є 96 % етанол [117].

Концентрацію хлорофілів та каротиноїдів розраховується за наступними формулами:

$$C_{\text{хл.а}} = 13.70 A_{665} - 5.76 A_{649}$$

$$C_{\text{хл.б}} = 25.80 A_{649} - 7.60 A_{665},$$

де A_{644} — оптична густина розчину за довжини хвилі 644 нм; A_{662} — оптична густина розчину за довжини хвилі 662 нм.

$$C_{\text{кар}} = 4.695 A_{441} - 0.268 (C_a + C_b),$$

де A_{441} — оптична густина розчину за довжини хвилі 441 нм; $(C_a + C_b)$ — сумарний вміст хлорофілів а та b в розчині, мг/л. Після встановлення концентрації пігментів, розраховують їх кількісний вміст (X, мг/г) за формулою:

$$x = V \times C / 1000 \times m,$$

де V — об'єм спиртової витяжки, мл; C — концентрація хлорофілу у спиртовій витяжці, мг/л; m — маса наважки сировини, г;

Кількість хлорофілу в спіруліні повинна становити 11-14 мг /г, а каротиноїдів 4-5,5 мг /г [114].

Визначення кількості фікоціаніну

Вміст синього пігменту у спіруліні визначають спектрофотометричним методом.

Методика кількісного визначення: наважку препарату масою 0,5 -1 г ретельно розтирають у ступці з додаванням кварцового піску. Розтерту масу заливають невеликим об'ємом дистильованої води (5–10 мл), доведеної розчином лугу до рН 7, та поміщають на 12 год на холод для кращої екстракції пігментів. Отриманий екстракт очищають від клітинної маси центрифугуванням. Концентрацію С-фікоціаніну визначають спектрофотометричним методом за допомогою УФ-спектрофотометра (Shimadzu, Японія) за довжиною хвиль 610-620 нм [118].

Фікоціанін кількісно визначають за рівнянням:

$$C_{\text{фкц}}=(A_{615} -0.474(A_{652}))/5.34,$$

де A_{615} — оптична густина розчину за довжини хвилі 615 нм; A_{652} — оптична густина розчину за довжини хвилі 652 нм [119].

Кількість фікоціаніну в спіруліні повинна становити 10-19% [114].

РОЗДІЛ 9. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

9.1. Аналіз технологічної схеми виробництва цільового продукту на місця емісії твердих, рідких та газоподібних відходів

В промисловості після отримання біомаси *Spirulina platensis* будуть наявні відходи виробництва і кількість відходів на кожному з етапів процесу може бути різною. Тому необхідно проаналізувати всі стадії процесу при виробництві БАДу, щоб розробити заходи для зменшення утворення відходів, а також сучасні методи та методики їх утилізації. Серед основних стадій, де утворюються відходи після біосинтезу *Spirulina platensis* слід виділити наступні:

1. Санітарна підготовка виробництва.
2. Приготування поживного середовища для отримання посівного матеріалу та виробничого біосинтезу.
3. Підготовка посівного матеріалу.
4. Виробничий біосинтез.
5. Післяферментаційні процеси.

Нижче наведено узагальнену таблицю щодо кількості та місця утворення відходів:

Таблиця 9.1.

Узагальнена таблиця щодо кількості та місця утворення відходів

Етап виробництва, який є місцем утворення відходів	Характеристика відходів	Складові відходів	Приблизні об'єми за виробничий цикл (210 діб)	Клас небезпечки
Миття та ополіскування обладнання	1% розчин каустичної соди	Каустична сода, бруд	14 838 л	2 клас
	0,3% робочий розчин «Гуасепту»	Полігексаметилен гуанідину гідрохлориду 26,0 +/- 1,5 %, бруд		4 клас
	0,5 % розчин «Дезактіну»	1,3 -дихлор-5,5-диметилгідантоїн у межах 21,0-23,0 % та 5,5-диметилгідантоїн у межах 12,4-16,4 %, бруд		4 клас

НУХТ БТЕК 04.01.26 КР ПЗ				
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Заярнюк З.В.		
Перевір.		Резніченко Ю.М.		
Консультант				
Н. Контр.				
Затверд.		Стабніков В.П.		

РОЗДІЛ 9. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ		
Літ.	Арк.	Аркушів
1	123	147
Кафедра БТМ		

Щоденне прибирання виробничих приміщень Генеральне прибирання виробничих приміщень	0,3 % робочий розчин «Гуасепту»	Полігексаметиленгуанідин у гідрохлориду 26,0 +/- 1,5%, бруд	100 171,4 л	4 клас
Вирощування посівного матеріалу в фотобіореакторах об'ємом 8 л, 50 л, 300 л, 1,8 м ³	Відпрацьоване повітря, залишки культуральної рідини	О ₂ , пил, тверді відходи, солі, вода, залишки біомаси	–	4 клас
Виробничий біосинтез у фотобіореакторі об'ємом 10 м ³	Відпрацьоване повітря, залишки культуральної рідини	О ₂ , пил, тверді відходи, солі, вода, залишки біомаси	–	4 клас
Фільтрування культуральної рідини	Фільтрат культуральної рідини	Залишки біомаси, солі, вода	8,88 м ³	4 клас
Сушіння біомаси	Водяна пара	Вода	84,15 кг	4 клас

9.1.1. Розрахунок орієнтовного об'єму стічних вод

Залишки мийно-дезінфікуючих засобів. Відомо, що для миття та дезінфекції обладнання за допомогою мобільної циркуляційної СІР-мийки необхідно приготувати робочі розчини із розрахунку 20-30 % від об'єму ємкісного обладнання.

Відповідно до специфікації обладнання, з ємкісного обладнання маємо: реактор–змішувач для приготування розчину мікроелементів, реактор–змішувач для приготування макроелементів Р-3, Р-8, Р -14, Р-20, Р-26, фотобіореактори Ф -5, Ф-10, Ф-16, Ф-22, Ф-28. Таким чином, потрібно розрахувати геометричний об'єм ємностей:

$$V_{\text{ємностей}} = V_{\text{Р-1}} + V_{\text{Р-3}} + V_{\text{Р-8}} + V_{\text{Р-14}} + V_{\text{Р-20}} + V_{\text{Р-26}} + V_{\text{Ф-5}} + V_{\text{Ф-10}} + V_{\text{Ф-16}} + V_{\text{Ф-22}} + V_{\text{Ф-28}} = 10 \text{ л} + 10 \text{ л} + 50 \text{ л} + 500 \text{ л} + 2000 \text{ л} + 10000 \text{ л} + 8 \text{ л} + 50 \text{ л} + 300 \text{ л} + 1800 \text{ л} + 10000 \text{ л} = 24 728 \text{ л}$$

Тоді об'єм мийно-дезінфікуючих засобів становитиме:

$$V_{\text{засобів}} = V_{\text{ємностей}} \times 0,2 = 24 728 \text{ л} \times 0,2 = 4 946 \text{ л, або}$$

$$V_{\text{засобів}} = V_{\text{ємностей}} \times 0,3 = 24 728 \text{ л} \times 0,3 = 7 419 \text{ л}$$

Приймаємо, що об'єм відпрацьованих залишків засобів дорівнює об'єму цих засобів, тобто 4 946 л - 7 419 л.

Відпрацьована вода після ополіскування обладнання. Об'єм води для ополіскування, так само як і мийно -дезінфікуючого розчину, становить 20-30% від

об'єму ємнісного обладнання. Як розраховано вище, даний параметр дорівнює 4 946 л -7 419 л.

Таким чином, в сумі орієнтовна кількість стічних вод за один цикл виробництва становитиме:

$$7\,419\text{ л} + 7\,419\text{ л} = 14\,838\text{ л або } 14,84\text{ м}^3.$$

Орієнтовний об'єм стічних вод на 1 т готового продукту. Згідно з ТЕО кількість отриманого готового продукту за цикл становить 29,43 кг/цикл, але при виділенні цільового продукту втрачається 10 % цільового продукту, тому кількість готового продукту без врахування втрат за один цикл складає:

$$29,43 \times 1,1 = 32,37\text{ кг/цикл}$$

У готовому продукті, який отримуємо частка сухої речовини становить 0,9 тобто вологи у готовому продукті міститься 10%. Розрахуємо скільки кг вологи міститься в 32,37 кг готового продукту за пропорцією:

$$32,37\text{ кг} - 100\%$$

$$X - 10\%$$

$$X = 3,24\text{ кг}$$

Відповідно кількість абсолютно сухої біомаси становить:

$$32,37 - 3,24 = 29,13\text{ кг}$$

Після фільтрування культуральної рідини отримуємо напівпродукт з 75% вологи, тому кількість вологи у напівпродукті за пропорцією буде становити:

$$29,13\text{ кг} - 25\%$$

$$X\text{ кг} - 75\%$$

$$X = 87,39\text{ кг}$$

Далі визначаємо масу отриманого напівпродукту:

$$29,13 + 87,39 = 116,52\text{ кг}$$

Кількість вологи, яка видалається з напівпродукту після сушіння буде становити:

$$87,39 - 3,24 = 84,15\text{ кг}$$

Але ця волога буде видалатись разом з газоподібним тепловим носієм і враховується до стічних вод, як пара.

Далі розраховуємо скільки стічних вод отримаємо після процесу фільтрування. Концентрація спіруліни в культуральній рідині по відношенню до звичайної води, яка є основою культуральної рідини, значно менша, тому прийmemo, що густина культуральної рідини буде становити 1000 кг/м^3 , тоді маса культуральної рідини буде становити:

$$9 \times 1000 = 9000 \text{ кг}$$

Звідси знаходимо кількість стічних вод після фільтрування культуральної рідини:

$$9000 - 116,52 = 8883,5 \text{ кг або } 8,88 \text{ м}^3$$

Тоді загальна кількість виробничих стічних вод за цикл буде становити:

$$14,84 + 8,88 = 23,72 \text{ м}^3/\text{цикл}$$

Розраховуємо норму водовідведення в м^3 на одиницю продукції за пропорцією:

$$23,72 \text{ м}^3 - 29,43 \text{ кг}$$

$$X - 1000 \text{ кг}$$

$$X = 808,36 \text{ м}^3/\text{т}$$

Згідно з ТЕО річна потужність підприємства становить 206 кг/рік , а кількість трудоднів 210 днів . Далі знаходимо кількість одиниць продукту що виробляється за день:

$$206 / 210 = 0,981 \text{ кг /добу або } 0,000981 \text{ т/добу}$$

9.1.2. Визначення середніх витрат стічних вод від промислового підприємства

Середні за зміну витрати виробничих стічних вод (Q_v):

$$Q_v = q_v \times n,$$

де q_v - норма водовідведення в м^3 на одиницю продукції, яку випускає підприємство

n - кількість одиниць продукції, що виробляється за зміну (розраховується у масових одиницях випуску готової продукції на добу).

$$Q_v = 808,36 \times 0,000981 = 0,79 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Середні за зміну витрати побутових стічних вод (Q_n):

$$Q_n = q_n \times N,$$

де q_n - норма відведення побутових стічних вод в $\text{м}^3/\text{зм}$ на одного робітника.

Приймаємо для холодних цехів $0,025 \text{ м}^3/(\text{зм люд})$:

N - кількість робітників, що працюють у зміну. Припустимо, що $N = 8$ (змінний майстер, мікробіолог, технолог, 2 апаратчики, 2 прибиральники, оператор).

$$Q_{\text{п}} = 0,025 \times 8 \text{ людей} = 0,2 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

Перерахунок даного показника на добу:

$$(0,2 \times 3 \times 24)/8 = 1,8 \text{ м}^3/\text{добу},$$

де 3 - кількість змін на добу;

24 - кількість годин у добі;

8 - тривалість однієї зміни, год.

Загальна витрата стічних вод, що утворюються на підприємстві (Q_a).

Орієнтовно можна прийняти у об'ємах у 5-30 разів меншому за витрати побутових стічних вод:

$$Q_a = Q_{\text{п}}/5 = 1.8/5 = 0,36 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Загальні витрати стічних вод, що утворюються на підприємстві (Q):

$$Q = Q_{\text{в}} + Q_{\text{п}} + Q_a = 0,79 \text{ м}^3/\text{добу} + 1,8 \text{ м}^3/\text{добу} + 0,36 \text{ м}^3/\text{добу} = 2,95 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

9.2.Перспективи впровадження системи екологізації виробництва

На основі інформації викладеної вище, можна зробити висновок про те, що виробництво спіруліни має відносно середні об'єми рідких, твердих та газоподібних відходів. Проте зменшити кількість уже наявних відходів, покращити процес виробництва та в цілому здійснити його екологізацію можна застосуванням таких прийомів:

- 1) Правильне використання водних ресурсів, що передбачає очищення відпрацьованої води та повторне її використання;
- 2) Організація на території виробництва місць для сортування твердих відходів та направлення їх в спеціалізовані місця на подальшу переробку;
- 3) Установка фільтрів для очищення відпрацьованого повітря від пилу.

В цілому ці заходи не тільки дозволяють виробництву відповідати екологічним вимогам, але і сприяють економії коштів для підприємства.

9.2.1. Система знешкодження та утилізації рідких відходів

Рідкі відходи під час виробництва БАДу спіруліна складаються з:

- відпрацьованих залишків мийних і дезінфікуючих засобів;
- відпрацьованої води для ополіскування обладнання;
- залишків культуральної рідини;
- води після фільтрації та сушіння культуральної рідини

Необхідно обрати режим очищення стічних вод (періодичний або безперервний), який залежить від загальних витрат стічних вод. Загальні витрати розраховують за середніми витратами стічних вод, які в свою чергу розраховуються знаючи об'єм стічних вод на масову одиницю продукції та добову потужність підприємства. Нижче наведено відповідні розрахунки.

Так як загальні витрати стічних вод, як зазначено вище, не перевищують 100 м³/добу, їх доцільно очищати в періодичному режимі. Доцільніше здійснювати біологічне очищення стічних вод в занурених (дискових) біофільтрах – до 500 м³/добу, що знайшли широке застосування у вітчизняній каналізаційній практиці.

Основними елементами дискового біофільтра (рис. 9.1) є круглі диски діаметром до 3 м, які розміщені вертикально на горизонтальному валу на відстані 10 – 30 мм один від одного [120].

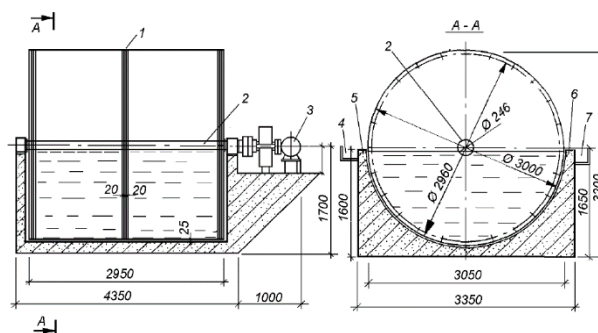


Рис.9.1 Дисковий біофільтр:

- 1 – диски; 2 – вал; 3 – привід блоку дисків; 4 – підвідний лоток; 5 – лоток; 6 – водозлив; 7 – відвідний лоток.

Диски виготовляються з алюмінієвих, пластмасових (полістирол, вініпласт) чи азбестоцементних листів товщиною від 1 до 10 мм. Для збільшення площі прикріплення біоплівки в дисках можуть влаштовуватись отвори діаметром 5 – 10

мм. Диски жорстко закріплюються на полуму сталюму валу, кінці якого опираються на підшипники. Один із кінців валу з'єднується з приводом. Якщо використовуються тонкі пластмаси чи алюміній, то на 1 п. м. валу можна встановити до 30 дисків. На деяких установках довжина валу без проміжних опор досягає 7 м [120].

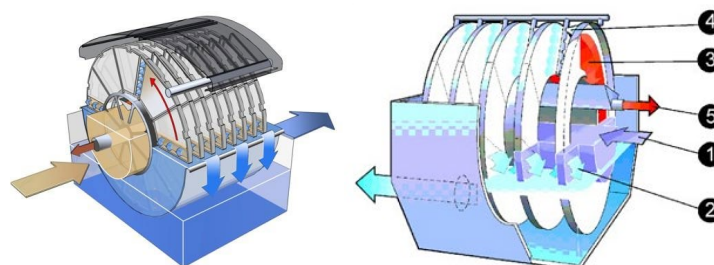


Рис.9.2. Дисківий біофільтр

В одній установці можуть встановлюватись від 1 до 5 пакетів дисків. Усі пакети в межах однієї установки приводяться в дію від одного електродвигуна за допомогою ланцюгової передачі від валу до валу.

Пакети дисків встановлюються в круглій лотці з монолітного бетону на сульфатостійкому цементі. Можливе також влаштування лотків із листових матеріалів – сталі чи пластмас. Розміри лотка визначають таким чином, щоб відстань між дисками і стінками лотка складала 2 – 5 см [121].

Опис особливостей очищення стічних вод. Рідкі відходи збирають у каналізаційний колектор та направляють на біологічне очищення забруднених вод, саме на біофільтр. Диски приблизно на половину діаметра занурені в лоток, по якому протікає стічна вода, і повільно обертаються за допомогою електроприводу. Поступово на поверхні дисків з'являється біоплівка. При занурюванні в рідину здійснюється процес сорбції біоплівкою нерозчинних, колоїдних і розчинних забруднень, що містяться в стічних водах. Коли біоплівка знову опиняється у повітрі, відбувається інтенсивне поглинання кисню й окислення вже сорбованих забруднень [122].

За рахунок обертання дисків здійснюється також аерація очищуваних стічних вод. Частина біоплівки, включаючи відпрацьовану, відривається від поверхні дисків, попадає в лоток і знаходиться в очищуваних стічних водах у завислому стані. Таким

чином, процеси біохімічного окислення органічних забруднень стічних вод здійснюються як біоплівкою, закріпленою на поверхні завантаження (як і в біофільтрах), так і вільно плаваючою біоплівкою (аналогічно до аеротенків).

Очищуванні стічні води надходять у лотки через впускний отвір чи перелив, який влаштовується вздовж однієї стінки, розміщеної перпендикулярно дискам, а відводяться через отвір, чи перелив з протилежної сторони. Стічні води можуть впускатися й випускатися також через стінки, розміщені паралельно дискам. У нижній частині лотків влаштовують збірні/відвідні канали чи поздовжні бункери для збирання і відведення осаду, які закінчуються відвідним трубопроводом із засувкою. Осад далі скидається у збірний колектор, по якому він надходить на зневоднення [120].

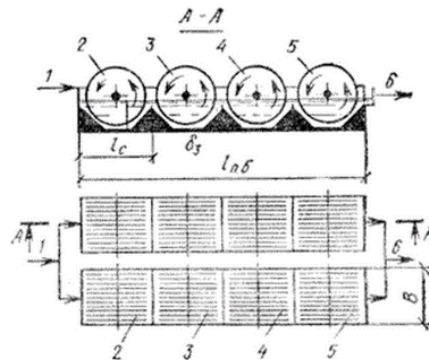


Рис.9.3. Схема роботи занурювального дискового біофільтра

1 – подача стічної води; 2,3,4,5 – ступені очистки; 6 – вихід очищеної води

За рахунок використання закріпленої й вільно плаваючої біоплівки, хороших умов контакту її з органічними речовинами стічних вод і киснем повітря, насичення очищуваних стічних вод киснем, дискові біофільтри забезпечують вилучення забруднень із підвищеними швидкостями.

У порівнянні з іншими типами біофільтрів, дискові біофільтри мають *ряд суттєвих переваг*: вони нескладні за конструкцією й прості в експлуатації; мають малі енергетичні витрати, які в 3-3,5 рази менші, ніж в аеротенках (енергетичні витрати в дискових біофільтрах не перевищують 0,3 КВт.год на 1 кг знятої БПК₅); мають малий гідравлічний опір, а тому не потребують великих перепадів висот для своєї роботи (при наявності перепаду висот більше 0,5 – 1 м пакет дисків може обертатись за рахунок енергії потоку); можуть ефективно працювати при великій

нерівномірності надходження стічних вод і різких коливаннях концентрацій забруднень; товщину біоплівки у дискових біофільтрах можна контролювати і регулювати [122].

Недоліком дискових біофільтрів є можливість інтенсивного розвитку біоплівки і забивання простору між сусідніми дисками. У цьому випадку передбачаються заходи по примусовому видаленню біоплівки з поверхні дисків.

Погано впливають на роботу дискових біофільтрів і відключення електроенергії. Через велику інерцію пакетів дисків включення біофільтра в роботу після зупинки потребує значних зусиль і часто призводить до виходу з ладу електроприводу. Дискові біофільтри використовуються для повної та неповної біологічної очистки стічних вод. Вони встановлюються після споруд механічної очистки, відділення відпрацьованої біоплівки від стічних вод здійснюється у вторинних відстійниках. Дискові біофільтри розміщуються в опалюваних і неопалюваних приміщеннях [121].

9.2.3. Система знешкодження газоповітряних викидів

Ці відходи представлені киснем, водяною парою та пилом.

Незважаючи на те, що водорості спіруліна технічно не є рослиною, вони мають усі переваги рослин. Спіруліна вловлює вуглець у співвідношенні 2:1 - це означає, що на кожен грам культивованої спіруліни виробляється 2 грами кисню, а 2 грами вуглекислого газу видаляються з атмосфери [123].

Тоді розрахуємо об'єм кисню, який виділяє спіруліна під час культивування за цикл.

Загальний об'єм культуральної рідини під час біосинтезу:

$$9\ 000\ \text{л} + 1\ 500\ \text{л} + 250\ \text{л} + 41,67\ \text{л} + 6,94\ \text{л} + 1,16\ \text{л} = 10\ 799,77\ \text{л}$$

Кількість біомаси спіруліни:

$$10\ 799,77\ \text{л} \times 3,59\ \text{г/л} = 38\ 771,8\ \text{г} = 38,77\ \text{кг}$$

Кількість кисню, яке виділяє спіруліна під час біосинтезу за цикл:

$$38,77\ \text{кг} \times 2 = 77,54\ \text{кг}, \text{ або}$$

$$77,54\ \text{кг} / 1,430 = 54,22\ \text{м}^3$$

Так як газоподібні відходи невеликі, на нашу думку, можна встановити головні

фільтри для очищення та знешкодження повітря безпосередньо на фотобіореакторах перед випуском повітря в атмосферу.

Так як в нашому випадку фотобіореактори ми купуємо під замовлення, то головні фільтри продаються у комплекті з ним, тобто фільтри є складовою частиною підбраного обладнання.

9.2.4. Система знешкодження та утилізації твердих відходів

Після всіх етапів виробництва, ми маємо велику кількість твердих відходів, які потребують розумної утилізації:

- бруд на фільтрах;
- непридатні хімічні реактиви (порошки для приготування м'ясо-пептонного агару, якщо термін придатності збіг, агаризовані середовища з чашок Петрі після мікробіологічного контролю, випадково розсипані солі при приготуванні поживних середовищ);
- пакувальні матеріали (картон, полівінілхлорид, поліетилен);
- скло (у результаті склобою лабораторного посуду);
- використані ганчірки, засоби індивідуального захисту.

Тверді відходи на фільтрах. На фільтрах можуть залишитись клітини продуценту і індуктору. Тому краще використані фільтри також піддати термічній обробці в убойному автоклаві і передати організаціям, які їх приймають на утилізацію.

Непридатні хімічні реактиви. Варто зберігати окремо в спеціально відведеній і промаркованій шафі, а потім передати спеціальним організаціям на утилізацію.

Агаризовані середовища з чашок Петрі з вирослими колоніями поперньо інактивувати в убойному автоклаві.

Інші відходи. Попередньо проводять сортування всіх пакувальних матеріалів з подальшим транспортуванням до пунктів прийому вторсировини. Частину матеріалу (картон, папір, вироби з поліетилену, фольга, скло) передають для вторинної переробки в спеціалізовані підприємства. Найбезпечніший і прогресивний вид утилізації відходів. Сприяє зменшенню площі сміттєзвалищ, уникненню забруднення навколишнього середовища, а також економії

природних ресурсів за рахунок використання вторсировини.

9.2.5. Заходи щодо зменшення об'ємів відходів

Пропонується застосовувати наступні заходи для зменшення об'ємів рідких відходів:

- раціональне споживання води;
- багаторазове використання.

Наприклад, у стічних водах підприємств розрізняють умовно чисту воду, незабруднену або слабозабруднену в процесі виробництва, що відноситься до першої категорії. Вони включають теплообмінну воду, яка охолоджує технологічну рідину через поверхню теплообмінника. Після того, як градирня охолоне і стабілізується, вода може бути повторно використана як оборотна вода. Солоність циркулюючої води збільшується в міру зменшення частки прісної води, що надходить циркулюючий потік. Для зниження ступеня мінералізації на багатьох підприємствах застосовуються системи опріснення води, наприклад із застосуванням іонообмінних смол.

У свою чергу промислово-забруднені води утворюються у проміжній технічній стадії, після вилучення цільового продукту, від очищення та дезінфекції технічних та допоміжних пристроїв, регенерації приміщень, фільтрів, адсорбентів тощо [124].

Ці газоподібні відходи представлені киснем, водяною парою та пилом. Для очищення повітря на виході з фотобіореактора встановлено фільтр.

Тверді відходи сортують та передають в спеціалізовані організації на подальшу переробку [124].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Becker, E.W. Micro-algae as a source of protein. *J. Biotechnology Advances* 2007, 25 (2): 207–210 doi: 10.1016/j.biotechadv.2006.11.0021
2. Технологія оздоровчих харчових продуктів : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освітньої спеціальності 181 – «Харчові технології» денної форми навчання / уклад. Н. П. Шевчук. Миколаїв : МНАУ, 2023. 98 с.
3. Патент України на винахід № 10253, Спосіб культивування синьозеленої водорості *Spirulina platensis* (nordst) geitl/ Будзай І.Г., Стахорський І.Є., Шнюкова Є.І., Мушак П.О., Пилипенко Л.І., Архипова В.І. Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.
4. Рибак, А. О. Культивування мікрowodоростей на стічних водах харчових виробництв / А. О. Рибак, А. І. Салюк // Міжнародна науково-технічна конференція "Розроблення та впровадження прогресивних ресурсощадних технологій та обладнання в харчову та переробну промисловість" : тези доповідей, 21-24 жовтня 1997 р. УДУХТ.].
5. Біотехнологія: П-к / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.; Під заг. Ред.. В.Г. Герасименка. – К.: «ІНКОС», 2006. – 647 с.
6. Markou G, Chatzipavlidis I, Georgakakis D. Effects of phosphorus concentration and light intensity on the biomass composition of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. *World J Microbiol Biotechnol.* (2012), 28(8), 2661-70.
7. Kawata, Y., Yano K.S.H. and Toyomizu M. Transformation of *Spirulina platensis* strain C1 (*Arthrospira* sp.) with Tn5 Transposase - Transposon DNA Cation Liposome Complex. *Marine Biotechnology* 2004, 6: 355-363 doi: 10.1007/s10126-003-0037-1
8. Кир'яченко С.П. Використання біомаси *Spirulina platensis* на кормові та харчові цілі / С.П. Кир'яченко, Прокопенко Л.С. // Огляд зарубіжної літератури. - Черкаси: ЧеркасМТЦНТЕІ, 1995. - 44с.
9. Saranraj P. *Spirulina platensis* – food for future: a review. *J. Pharmaceutical Science & Technology.* 2014, 4(1): 26-33. e-ISSN: 2248 – 9185

10. Аур, А.; Аміалі, М.; Бітам, А.; Бенчабане, А.; Raghavan, V. Порівняння біохімічного складу різних груп *Arthrospira platensis* з Алжиру, Чаду та США. *J. Food Meas. Характер.* 2017 , 11 , 913–923.
11. Алі, MS; Гад, А. С. Хімічний склад і потенційне застосування біомаси *Spirulina platensis* . *J. Am. Sci.* 2010 , 6 , 819–826.
12. Written by WebMD Editorial Contributors, Spirulina: Are There Health Benefits? *J. WebMD -Magazine Presents.* [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://www.webmd.com/diet/spirulina-health-benefite>
13. Usharani G., Saranraj P., Kanchana D. Spirulina Cultivation: A Review. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives* 2012, 3(6): 1327-1341 doi: 10.1023/B:HYDR.0000020313.09924.c1
14. Що таке спіруліна та її корисні властивості для здоров'я. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://fitnessfactor.ua/что-такое-spirulina-i-ee-poleznye-svoystva-dlya-zdorovya/>].
15. Finamore A. , Palmery M., Bensehaila S., Peluso I., Antioxidant, Immunomodulating, and Microbial-Modulating Activities of the Sustainable and Ecofriendly Spirulina. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2017, doi: 10.1155/2017/3247528.
16. Canizares-Villanueva, R. O., A. R. Dominguez, M. S. Cruz, and E. Rios-Leal. Chemical composition of cyanobacteria grown in diluted, aerated swine wastewater. *Bioresour. Technol.* 1995, 51: 111-116. doi:10.1016/0960-8524(94)00099-M
17. Сухий корм для дорослих собак середніх і великих порід Farmina N&D Spirulina беззерновий з ягням, спіруліною та ягодами годжі 7 кг [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://maudau.com.ua/product/sukhyi-korm-dlia-doroslykh-sobak-serednikh-i-velykykh-porid-farmina-nd-spirulina-bezzernovyi-z-yahniam-spirulinoiu-ta-yahodamy-hodzhi-7-kh?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw3ZayBhDRARIsAPWzx8rqkv47j-SAr8Yqze-n84gm6XZkA1iwhAvGbs-3Pd_jnpXJVpo8uBUaAim1EALw_wcB
18. Purina One Adult Dual Nature Spirulina Сухий корм для кішок з куркою та спіруліною [Електронний ресурс] // Режим доступу:

https://www.zootovary.com/uk/purina-one/adult-dual-nature-spirulina-suhii-korm-dlya-kishok-kurkoyu-ta-spirulinoyu-p-11449.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw3ZayBhDRARIsAPWzx8pCJzJA-azwe5kcwxJQavg3Y2Hv4bWcdvxQ8zz_w5a1DdcI2sxMrwaApNoEALw_wcB

19. Сухий корм для акваріумних риб Tetra в пластинках «Pleco Spirulina Wafers» 3,6 л (для трав'яних донних риб) [Електронний ресурс] // Режим доступу: [https://masterzoo.ua/ua/sukhoy-korm-dlya-akvariumnykh-ryb-tetra-v-plastinkakh-pleco-spirulina-wafers-36-l-dlya-travoyadnykh-donnykh-ryb/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PMax_\[Shopping\] Smart_%D0%90%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%83%D0%BC%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0&utm_term=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw3ZayBhDRARIsAPWzx8rt2-kQE2nuNJisA_nPbjYJR0bSGWDihUk6xVHL3I_3Z8543-WDYOEaAo4fEALw_wcB](https://masterzoo.ua/ua/sukhoy-korm-dlya-akvariumnykh-ryb-tetra-v-plastinkakh-pleco-spirulina-wafers-36-l-dlya-travoyadnykh-donnykh-ryb/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PMax_[Shopping] Smart_%D0%90%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%83%D0%BC%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0&utm_term=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw3ZayBhDRARIsAPWzx8rt2-kQE2nuNJisA_nPbjYJR0bSGWDihUk6xVHL3I_3Z8543-WDYOEaAo4fEALw_wcB)

20. Вироби макаронні Felicia Спагетті зі спіруліною органічні, 250г [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://shop.silpo.ua/product/vyroby-makaronni-felicia-spagetti-zi-spirulinoiu-organichni-943452?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw3ZayBhDRARIsAPWzx8olDc4QuwU69nea1-ZVqaf9OkwbhGe7S8-gz9TKlCZOrfZhtEp9YtMaAr0FEALw_wcB

21. Висівки вівсяні Naturalis зі спіруліною та ламінарією 250 г [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://rozetka.com.ua/ua/361050156/p361050156/?gad_source=4&gclid=Cj0KCQjw3ZayBhDRARIsAPWzx8qn6r2_Bs0vOJLjeqjaIvjSOdHjI0ll-eEHMq7nh0Ltd4vIWC5kyJkaApcKEALw_wcB

22. Seapoint Farms, чіпси з морськими водоростями, мигдаль та кунжут, 35 г (1,2 унції) [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://ua.iherb.com/pr/seapoint-farms-seaweed-crisps-almond-sesame-1-2-oz-35-g/68231?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw3ZayBhDRARIsAPWzx8oMgJJ3iQgiwX7Rhp6xVGSdFMPVN3JFHJb9jolQN5ESm2FtBG3QHUaAuw5EALw_wcB&gclsrc=aw.ds

23. Що таке спіруліна та її корисні властивості для здоров'я. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://fitnessfactor.ua/chtotakoe-spirulina-i-ee-poleznye-svoystva-dlya-zdorovya/>
24. Becker, E.W. Micro-algae as a source of protein. J. Biotechnology Advances 2007, 25 (2): 207–210 doi: 10.1016/j.biotechadv.2006.11.002
25. Vonshak. A. *Spirulina platensis* (Arthrospira). Physiology, cell-biology and biotechnology. - Taylor & Francis. 1997. 233p.
26. Є.І. Шнюкова, О.О. Сиваш, Н.Ф. Михайленко; Під ред. О.К. Золотарьової. – К.: Альтерпрес, 2008. – 234 с.
27. Патент України на винахід № 37571, спосіб культивування спіруліни *Spirulina platensis* (nordst.) Geitl/Бородіна О.В. Опубл. 10.12.2008, Бюл.№ 23.
28. *Arthrospira platensis* Gomont, 1892. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=213728>
29. Microphyt veut devenir le Naturex des microalgues. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://capitalfinance.lesechos.fr/deals/capital-risque/microphyt-veut-devenir-le-naturex-des-microalgues-1037238>
30. Golmakani, MT., Rezaei, K., Mazidi, S. et al. Effect of alternative C2 carbon sources on the growth, lipid, and γ -linolenic acid production of spirulina (*Arthrospira platensis*). Food Sci Biotechnol 2012, 21: 355–363 doi: 10.1007/s10068-012-0047-8.
31. Cogne G., Gros J.-B., Dussap C.-G. Identification of a Metabolic NetworkStructure Representative of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* Metabolism. Biotechnol Bioeng 2003, 84(6): 667–676 doi: 10.1002/bit.10808.
32. Спіруліна - користь, шкода, протипоказання // Уніан [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.unian.ua/health/country/10966526-spirulina-korist-shkoda-protipokazannya.html>
33. Спіруліна і її користь для організму // SAYyes [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://sayyes.com.ua/ua/spirulina-i-ee-polza-dlya-organizma/>
34. Що таке спіруліна та чим вона корисна // amrita [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.amrita.ua/ua/articles/article/chtotakoe-spirulina-i-chem-ona-polezna/>

35. Спіруліна органічна (Spirulina Organic) // boivit [Електронний ресурс]
Режим доступу: <https://biovit.ua/ua/spirulina-1/spirulina-organicheskaya-spirulina-organic-500-mg-120-kapsul>
36. Кузнецова О.М. Вдосконалення системи контролю якості та безпеки дієтичних добавок : автореф. дис. канд. біол. наук. Київ, 2020. 23 с. Режим доступу: http://www.health.gov.ua/docs/kuznetsova/dis_Kuznetsova.pdf
37. Industry Statistics: Global Dietary Supplements Market Size Will Grow to USD 306.8 Billion by 2026, Says Facts & Factors. GLOBE NEWSWIRE // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/01/19/2160500/0/en/Industry-Statistics-Global-Dietary-Supplements-Market-Size-Will-Grow-to-USD-306-8-Billion-by-2026-Says-Facts-Factors.html>
38. Spirulina Market Overview. Allied Market Research // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.alliedmarketresearch.com/spirulina-market>
39. Jamilatun, S., Budhijanto, B., Rochmadi, R. and others. Comparative analysis between pyrolysis products of *Spirulina platensis* biomass and its residues. International Journal of Renewable Energy Development 2019, 8(2): 133, doi:10.14710/ijred.8.2.133-140
40. Papadopoulos, K.P.; Economou, C.N.; Markou, G.; Nicodemou, A.; Koutinas, M.; Tekerlekopoulou, A.G.; Vayenas, D.V. Cultivation of *Arthrospira platensis* in Brewery Wastewater. Water 2022, 14: 1547. doi: 10.3390/w14101547
41. Cogne, G., Gros, J.-B., & Dussap, C.-G. Identification of a metabolic network structure representative of *Arthrospira (Spirulina) platensis* metabolism. Biotechnology and Bioengineering 2003, 84(6), 667–676. doi:10.1002/bit.10808
42. Carbon fixation in photosynthetic organisms - *Arthrospira platensis*. [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://www.genome.jp/kegg-bin/show_pathway?arp00710
43. Пирог Т.П. Загальна мікробіологія // Підручник. – 2-е вид., доп. і перероб. – К.: НУХТ. – 2010. – 632 с.
44. Biosynthesis of amino acids - *Arthrospira platensis* [Електронний ресурс] https://www.genome.jp/kegg-bin/show_pathway?arp01230

45. Amino sugar and nucleotide sugar metabolism - *Arthrospira platensis* [Електронний ресурс] https://www.genome.jp/kegg-bin/show_pathway?arp00520
46. Glycerophospholipid metabolism - *Arthrospira platensis* [Електронний ресурс] https://www.genome.jp/kegg-bin/show_pathway?arp00564
47. Pyrimidine metabolism - *Arthrospira platensis* [Електронний ресурс] https://www.genome.jp/kegg-bin/show_pathway?arp00240
48. Purine metabolism - *Arthrospira platensis* [Електронний ресурс] https://www.genome.jp/kegg-bin/show_pathway?arp00230
49. Пирог Т.П., Ігнатова О.А. Загальна біотехнологія. – Київ: НУХТ, 2009. – 336 с.
50. Золотарьова О.К., Шнюкова Є.І., Сиваш О.О., Михайленко Н.Ф. Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології. - К.: Альтерирес. – 2008. – 234 с.
51. А.В. Котинський, А.І. Салюк, О.Ф. Нікулін Культивування мікроводоростей роду *Spirulina* Харчова промисловість. 2000, Вип. 45 УДК 581.1 Режим доступу:<https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5898/3/68.pdf>
52. Сидоров Ю. І. Фотобіореактори // Біотехнологія. – 2010. – № 5. – С. 19-30.
53. Хоменко А.Д. Біотехнологія культивування *Spirulina platensis* за використання сироватки молока та застосування біомаси водорості у перепелівництві: автореф. дис. канд. с.-г. наук. Біла Церква, 2015, 20 с
54. Zhang, Xing. Microalgae removal of CO₂ from flue gas.2015.10.13140/RG.2.2.26617.77929.
55. Wongluang, P., Chisti, Y., & Srinophakun, T. Optimal hydrodynamic design of tubular photobioreactors. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2012 88(1): 55–61. doi:10.1002/jctb.3898
56. Як порахувати обсяг круглої труби? [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://beregbud.com.ua/yak-poraxuvati-obsyag-kruglo%D1%97-trubi/>
57. Міщиряк В.Г. Сучасні гігієнічні вимоги до миття та дезинфекції на харчових підприємствах//Підручник. – Донецьк. – 2012. – 33 с.

58. Jin Liu, Dr. Zheng Sun and Henri Gerken. Recent Advances in Microalgal Biotechnology/OMICS Group eBooks. – 2014. – 14 p.

59. Миючі засоби. [Електронний ресурс]. Режим доступу:<http://medbib.in.ua/moyuschiesredstva.html>

60. Засіб чистячий низькопінний Фамідез® Санокварт для миття поверхонь та технологічного обладнання. [Електронний ресурс] // Режим доступу:<https://famidez.ua/index.php/produksiya/dezinfektsiya/poverkhni/sanokvart>

61. ІНСТРУКЦІЯ щодо застосування засобу "Фамідез® Санокварт" з метою дезінфекції [Електронний ресурс] // Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://famidez.ua/doc/2020%20MI%20Famidez%20Sanokvart.pdf>

62. Каустична сода 25 кг [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://prom.ua/ua/p1936620743-soda-kausticheskaya.html?token=v2%3A_dLm4872_jkRk4LmScOHG0jtmLMZbLW7emxrtOeqTXQYCvscCu_HeUD6H6pdunT6EE6gEIZJ40QjRCnZNZELiXVVHMR2LJLYF0pM1B0SW98A9E4s7FFeQrTxlPixbsuJ&campaign_id=3830593&product_id=1936620743&source=prom%3Asearch%3Atag%3Aserp&locale=uk&category_ids=82105&from_spa=true

63. Порошок для дезінфекції Дезактин 1 кг [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://apteka911.ua/ua/shop/poroshok-dlya-dezinfektsiyi-dezaktin-1-kg-p27126>

64. Інструкція для проведення дезінфекційних заходів розчином Дезактин [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.lyublynets-gromada.org.ua/wp-content/uploads/2020/03/628.pdf>

65. ЖИДКОЕ КОНЦЕНТРИРОВАННОЕ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕЕ СРЕДСТВО ДЕЗЕФЕКТ 10 Л УНВЦ ПРОБЛЕМ ДЕЗИНФЕКЦИИ [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://newmed.in.ua/p2107581990-zhidkoe-kontsentririvannoe-dezinfitsiruyuschee.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwte-vBhBFEiwAQsv_xR3U7N2JYeqe-J6gJTIJCwhcbi0b7mVn0Jg-hP5jE4Q4cmI_n6eVjRoC_tIQAvD_BwE

66. Дезфект, 1 л — флакон-дозатор (Україна) [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://hlorka.in.ua/ua/p1537967083-dezefekt-flakon-dozator.html>
67. Методичні вказівки щодо застосування засобу «Дезфект» з дезінфекції та достерилізаційного очищення [Електронний ресурс] / Режим доступу: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://interdez.com.ua/wp-content/uploads/2017/01/Metodichka_Dezeft_UNVTS.pdf
68. Дезінфікуючий засіб Гембар 25,0 (5 л) [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://spilna-meta.com.ua/ua/p257133961-dezinfitsiruyuschee-sredstvo-gembar.html>
69. Гембар [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.datonal.org/?m0prm=3&m1prm=4&showItem=25>
70. Дезинфицирующее средство концентрат Гуасепт 5 л [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://medimark.com.ua/dezinfekciya/dezinficiruyushchie-sredstva/dezinficiruyuschee-sredstvo-koncentrat-guasept-5-l/?gclid=CjwKCAjwte-vBhBFEiwAQsv_xfPmfSW21hu2Nxx_nqHMi_-RQI7crkoKvwuH0lFFy90Qw3h2b4c6XBoC3zIQAvD_BwE
71. Інструкція щодо застосування засобу «Гуасепт» з метою дезінфекції [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://aveal.com.ua/userfiles/files/%D0%93%D1%83%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BF%D1%82%20%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F\(1\).pdf](https://aveal.com.ua/userfiles/files/%D0%93%D1%83%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BF%D1%82%20%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F(1).pdf)
72. Засіб дезінфекційний «Скінман Софт Протект ФФ(Skinman Soft Protect FF)» [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://dezplus.com.ua/catalogue/disinfection/antiseptis/skinman_soft_protect_ff.html
73. Засіб дезінфекційний «АХД 2000 ультра» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://lysoform.ua/products/ahd-2000-ultra/>
74. Wang H., Ji B., Wang J., Guo F., Zhou W., Gao L., Liu T. Z. Growth and biochemical composition of filamentous microalgae *Tribonema* sp. as potential biofuel feedstock. *J. Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2014, 37(12), 2607–2613. doi:10.1007/s00449-014-1238-x

75. Cuellar-Bermudez S. P., Kilimtzdi E., Devaere J., Goiris K., Gonzalez-Fernandez C., Wattiez R., Muylaert K.. Harvesting of *Arthrospira platensis* with helicoidal and straight trichomes using filtration and centrifugation. *J. Separation Science and Technology*. 2019, 1–10. doi:10.1080/01496395.2019.1624573
76. Карлаш Ю.В., Красінько В.О. Основи проєктування біотехнологічних виробництв [Електронний ресурс]: Навч. посібник.-К.: НУХТ, 2022.-373 с.
77. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Промислова та екологічна біотехнологія" для студентів очної форми навчання та після дипломної освіти зі спеціальності: 162 Біотехнології та біоінженерія першого (бакалаврського) рівня / Укладач: Корнієнко І. М. – Кам'янське: ДДТУ, 2017. – 51 с.
78. Стрічковий фільтр-прес [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://ua.esmil.eu/product/belt-filter-press/>
79. Дубковецький І. В., Малежик І. Ф., Пасічний В. М., Страшинський І. М., Стрельченко Л. В., Коломієць Р. А., Фурсік О. П. Дослідження впливу комбінованого термопідведення в процесі сушіння на зміну характеристик білків різної природи. 2014.
80. Сушарка Ezidri Ultra FD1000 Digital [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://ezidri-master.com/ua/tovary/ezidri-ultra-fd1000-digital.html>
81. Процеси та апарати харчових виробництв: Навч.-мет. посібник для самостійної роботи студентів / І.А.Філімонова // – Умань: видавничо-поліграфічний центр «Візаві», 2014. – 105 с.
82. Пакет дой-пак 100*170 дно (30+30) крафт [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://kinhov.com.ua/ua/p393924544-paket-doj-pak.html>
83. Дой-пак пакет крафт 140 × 240 (дно 40+40) с замком Zip [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://profipak.com.ua/p1817877542-doj-pak-paket.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwqpSwBhClARIsADlZ_Tl7Aei0MWpa3vXPDH2SwunZo4XUOR3k87B6dtgJb8G-HaW3rvFUqw0aAt4mEALw_wcB

84. Порошок спіруліни БІО - GymBeam [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://gymbeam.ua/ua/bio-spirulina-powder-gymbeam.html?adgroupid=&filter=out>
85. Stainless steel High Pressure Laboratory Chemical Reactor 10L. [Електронний ресурс] – режим доступу: https://www.alibaba.com/product-detail/10L-20L-30L-50L-100L-200L_1600259441420.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.49.7b249bf41LmK7u
86. Електронний промисловий дозатор води і рідин Serv_W21. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://prom.ua/ua/p491625353-avtomaticheskij-promyshlennyj-dozator.html>
87. Photobioreactors. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bbi-biotech.com/en/produkte/fermenter-bioreaktoren/photobioreaktoren/>
88. Double-layer Stainless Steel Reactor 50L. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.nanbeinstrument.com/glass-reactor/stainless-steel-reactor/50l-double-layer-stainless-steel-reactor.html>
89. Герметичні насоси з магнітним приводом FMB. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://prom-nasos.com.ua/ua/catalog/brands/fluimac/fmb/>
90. Photobioreactors. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bbi-biotech.com/en/produkte/fermenter%20bioreaktoren/photobioreaktoren/>
91. Перистальтичний насос SEKO серії PSH 30/60/90/120 л/год, 0,1 бар, NORPRENE. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://dosingtech.com.ua/product/peristalticheskij-nasos-seko-serii-psh-30-60-90-120-l-ch-0-1-bar-norprene/>
92. Весовий дозатор 0,1 - 60 кг. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://agro-teh.com.ua/p565239385-vesovoj-dozator.html>
93. Ai ETL C1D1 Dual-Jacketed 300L 316L-Grade SST Reactor [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.acrossinternational.com/ai-dual-jacketed-200l-316l-grade-stainless-steel-reactor-1.html>
94. Перистальтичний шланговий насос ASP25/15IX, 385 л/год, 10 бар. [Електронний ресурс] – режим доступу:

<https://dosingtech.com.ua/uk/product/peristaltichnij-shlangovij-nasos-asp25-15ix-385-l-god-10-bar/>

95. Дозатор води та рідин. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://agro-teh.com.ua/ua/p370228267-dozator-vody-zhidkostej.html>

96. Апарати із змішуючим пристроєм. [Електронний ресурс] – режим доступу: http://euromash.kiev.ua/ua/aparati_perem_ustroystvom_ua.php

97. Насос поверхневий Speroni CBM 152. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://watton.ua/speroni-nasos-cbm-152.html>

98. Насос відцентровий M-70 PL 0,55 кВт SAER (2,4 м³/год, 52 м). [Електронний ресурс] режим доступу: <https://vodonet.com.ua/nasos-vidtcentrovii-m-70-pl-0-55-kvt-saer-2-4-m3-god-52-m>

99. Центробежный поверхностный насос Speroni CS 50-160 D 3 кВт. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://teploradost.com.ua/centrobezhnyjpoверхnostnyj-nasos-speroni-cs-50160-d-3-kvt>.

100. Насос відцентровий M-700B нерж.1.5кВт SAER (10 м³/год, 52 м). [Електронний ресурс]-режим доступу: <https://sanilux.com.ua/ua/nasostsentrobegnyj-m-700b-nerg-1-5kvt-saer-10-m3-ch-52-m>

101. ДСТУ ISO 14644-1:2009 «Чисті приміщення та пов'язані з ними контрольовані середовища»

102. Markou G, Chatzipavlidis I, Georgakakis D. Effects of phosphorus concentration and light intensity on the biomass composition of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. *World J Microbiol Biotechnol.* (2012), 28(8), 2661-70

103. Dineshkumar R. , Narendran R. & Sampathkumar P. Cultivation of *Spirulina platensis* in different selective media. *Indian Journal of Geo Marine Sciences.* 2016, 45(12): 1749-1754

104. Saxena R., Rodriguez-Jasso R.M., Chavez M., Aguilar C. Strategy Development for Microalgae *Spirulina platensis* Biomass Cultivation in a Bubble Photobioreactor to Promote High Carbohydrate Content. *Fermentation.* 2022, 8(8): 374

105. Vonshak, A. (Ed.): *Spirulina platensis* (*Arthrospira*) . Physiology, Cell Biology and Biotechnology. *Photosynthetica.* 2000, 38(4):552-552 doi:10.1023/A:1012498515734

106. Державний Стандарт України ДСТУ 4948:2008. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту нітратів. З поправкою. – Держспоживстандарт України. – 2009.

107. Відбір зразків ґрунту і підготовка їх до аналізу [Електронний ресурс] режим доступу: <https://nenc.gov.ua/wp-content/uploads/2020/10/%D0%9B%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D1%96-%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8.pdf>

108. Міждержавний стандарт ГОСТ 23268.3-78. Води мінеральні питні лікувальні, лікувально-столові і природні столові. Методи визначення гідрокарбонат-іонів

109. Красінько В.О. Методи контролю біотехнологічних, фармацевтичних і харчових виробництв: консп. лекцій для здобув. освіт. ступ. «бакалавр» спец. 162 «Біотехнології та біоінженерія» освіт.-проф. програми «Біотехнологія» ден. і заоч форм навч. – К.: НУХТ, 2019. 60 с.

110. Kruger NJ. The Bradford method for protein quantitation. Methods Mol Biol. 1994; 32:9-15. doi: 10.1385/0-89603-268-X:9.

111. Bradford protein assay // Experimental Biosciences [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ruf.rice.edu/~bioslabs/methods/protein/bradford.html>

112. He, F. Bradford Protein Assa. Bio-protocol, 2011. Bio101: e45. DOI: 10.21769/BioProtoc.45

113. Спектрофотометр V-1200 // Spectro Lab [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://spectrolab.com.ua/ua/p19162100-spektrofotometr-1200.html>

114. Порошок Спіруліни [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://ua.lsherb.com/plant-extract/anti-oxidant-ingredients/spirulina-powder.html>

115. Ваги для визначення вологості МА 50.R [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://labormarket.com.ua/p1424406657-vagi-dlya-viznachennya.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=18377678563&utm_network=x&utm_adposition=&utm_device=c&utm_matchtype=&utm_target=&utm_group=&utm_term=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw1Zi

116. Протокол за результатами лабораторних досліджень №424 від «26» березня 2021 року оцінки результатів лабораторних досліджень проб продовольчої сировини або продуктів харчування [Електронний ресурс] // Режим доступу: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://news.farmasi.ua/images/pages/certificate/bad/nutriplus-spirulina.pdf>

117. Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів в листі шпинату городнього (*Spinacia oleracea* L.) / У. В. Гриненко, І. О. Журавель // Збірник наукових праць співробітників НМАПО ім. П. Л. Шупика. - 2017. - Вип. 28. - С. 29-33. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpsnmapo_2017_28_5

118. M. NEZBERYTSKA, A.V KUREYSHEVYCH, O. A. VASYLCHENKO, A. B. MYNENKO. PHYCOBILIPROTEINS CONTENT IN CYANOBACTERIA PHORMIDIUM AUTUMNALE F. UNCINATA BIOMASS AT CULTIVATION TEMPERATURE VARIATION. Ж. проблеми екологічної біотехнології. 2014-12-13. DOI: <https://doi.org/10.18372/2306-6407.2.7493>

119. Kaur S., Khattar J. I. S., Singh Y., Singh D. P., & Ahluwalia A. S. Extraction, purification and characterisation of Phycocyanin from *Anabaena fertilissima* PUPCCC 410.5: as a natural and food grade stable pigment. *J. of Applied Phycology*.2019, (31): 1685–1696. DOI: 10.1007/s10811-018-1722-9

120. Методичні вказівки з дисципліни «Малі очищувальні споруди» для студентів спеціальностей 7.06010108, 8.06010108 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів» (освітньо-кваліфікаційний рівень – спеціаліст, магістр) усіх форм навчання./ Уклад: А.П. Калюжний, к.т.н., ст. викладач, К.О. Чаленко, магістр. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 83 с.

121. Айрапетян Т. С. Технологія очистки промислових стічних вод : конспект лекцій Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 73 с.

122. Очисні споруди водовідведення: методичні вказівки і завдання до виконання курсового проекту з дисципліни «Очисні споруди водовідведення» : для бакалаврів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації

«Водопостачання та водовідведення» денної та заочної форм навчання / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; укладач В. П. Хоружий. - Київ : КНУБА, 2023. - 68 с. - Бібліогр. : с. 62.

123. Spirulina Algae: The Ultimate Food [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://algifoods.com/blogs/the-almi-blog/spirulina-algae-the-ultimate-food>

124. Скоробогатий Я.П., Ощатовський В.В., Василечко В.О., Кусковець С. Л. Основи екології: навколишнє середовище і техногенний вплив. – Л. : Новий Світ-2000, 2008. – 222 с.