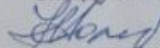


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

До захисту допущено:
Завідувач кафедри

 Наталія ГОЛУБ

«03» червня 2025 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

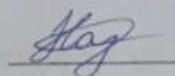
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»

спеціальності 162 «біотехнології та біоінженерія»

на тему: «Біотехнологія препарату на основі *Rhodococcus erythropolis*
для очистки ґрунтів від нафтопродуктів»

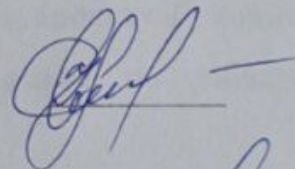
Виконав:

студент IV курсу, групи ББ-11
Ліщун Назар Сергійович

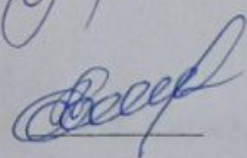


Керівник:

доцент, к.т.н., с.н.с.,
Гринюк Ірина Іванівна



Консультант з проєктування:
професор., д.т.н, професор
Саблій Лариса Андріївна



Рецензент:

асистент, каф. промислової біотехнології та біофармації
Зубик Павло Романович

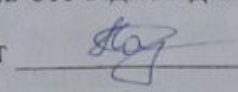


Засвідчую, що у цьому дипломному

проєкті немає запозичень з праць

інших авторів без відповідних посилань.

Студент



Київ – 2025 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

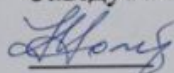
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Біотехнології»

Завідувач кафедри

 Наталія ГОЛУБ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

«21»  2025р.

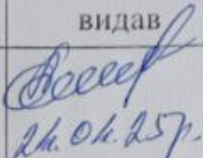
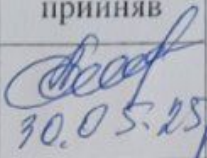
ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту
Ліщуну Назару Сергійовичу

1. Тема проєкту «Біотехнологія препарату на основі *Rhodococcus erythropolis* для очистки ґрунтів від нафтопродуктів», керівник проєкту Гринюк Ірина Іванівна, к.т.н., с.н.с., доцент, затверджені наказом по університету від «29» травня 2025 р. № 1838-с
2. Термін подання студентом проєкту: 3 серпня 2025р.
3. Вихідні дані до проєкту: штам *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1, ферментер для культивування біологічного агента, об'ємом 16 м³; параметри культивування – $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 6,8-7,0$, перемішування, $\tau = 160$ год, аерація – $1\text{ м}^3/\text{м}^3 \times \text{год}$
4. Зміст пояснювальної записки: Обґрунтувати вибір біологічного агента, для виробництва препарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів; Обґрунтувати вибір технології виробництва препарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів; Навести характеристику кінцевого продукту та визначити вимоги до сировини, що використовується у технологічному процесі; Розробити технологічну та апаратурну схему виробництва препарату для очистки ґрунтів на основі *Rhodococcus erythropolis*; Провести розрахунки та виконати креслення ферментера для виробництва препарату на основі *Rhodococcus erythropolis*; Навести рекомендації щодо охорони праці та охорони довкілля на виробництві.

Rhodococcus erythropolis; Навести рекомендації щодо охорони праці та охорони довкілля на виробництві.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): технологічна схема (А1), апаратурна схема (А1), креслення ферментера (А1).
6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Графічна частина дипломного проєкту	д.т.н., проф. Саблій Л.А.	 24.04.25р.	 30.05.25р.

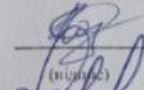
7. Дата видачі завдання 21 квітня 2025 р.

Календарний план

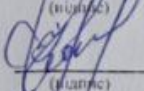
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд літературних джерел	24.04 – 30.04	Виконано
2	Обґрунтування вибору біологічного агенту	24.04 – 29.04	Виконано
3	Обґрунтування вибору технології	30.04 – 07.05	Виконано
4	Виконання розрахунків	08.05 – 15.05	Виконано
5	Виконання технологічної схеми, апаратурної схеми, креслення ферментера	17.05 – 29.05	Виконано
6	Виконання та оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів	28.05 – 09.06	Виконано

Студент

Керівник проєкту


(підпис)

Назар ЛІЩУН


(підпис)

Ірина ГРИНІЮК

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Біотехнологія препарату на основі
Rhodococcus erythropolis **для очистки ґрунтів від**
нафтопродуктів»

Київ – 2025 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 96 ст., 9 рис., 5 табл., 56 посилань.

Метою даного проєкту є обґрунтування технології виробництва біопрепарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів.

Обґрунтовано вибір біологічного агента *Rhodococcus erythropolis* EK-1. Даний біологічний агент має ряд переваг: здатність до росту на гідрофобних та гідрофільних субстратах, стійкість до рівня рН (4,0-11,0), є безпечним для рослин та людей, здатен до синтезу зв'язаних з клітинною стінкою поверхнево-активні речовини, які сприяють покращенню процесу деструкції нафти. Наведено характеристику морфолого-цитологічних, культуральних, фізіолого-біохімічних ознак біологічного агента, наведено характеристику сировини.

Розглянуто схему біохімічних процесів та охарактеризовано кінцевий продукт – зневоднену біомасу біологічного агента, з титром життєздатних клітин $1,5 \cdot 10^9$ КУО/г. Розроблено апаратурну та технологічну схему виробництва біопрепарату. Описано технологію виробництва, розраховано матеріальний баланс виробництва, вказано точки та параметри контролю технологічного процесу. Для виділення цільового продукту використано типову схему: сепарація, фільтрування, сушіння, оскільки вона забезпечує ефективне виділення та зневоднення продукту, при цьому забезпечуючи збереження активності клітин біологічного агента.

Для культивування біологічного агента *Rhodococcus erythropolis* обрано ферментер, об'ємом 16 м³. Виконано розрахунки, що підтверджують здатність обраного апарату забезпечити оптимальні умови для культивування біологічного агента. Апарат обладнано турбінною мішалкою, барботером, сорочкою та змішувиком. Виконано креслення даного апарату.

БІОПРЕПАРАТ, *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS*, НАФТОПРОДУКТИ, ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ, ФЕРМЕНТЕР, ҐРУНТ.

ABSTRACT

Explanatory note: 96 pages, 9 figures, 5 tables, 56 references.

The objective of this project is to justify the production technology for a bioproduct intended for the remediation of petroleum-contaminated soils.

The selection of the biological agent *Rhodococcus erythropolis* EK-1 is substantiated. This strain possesses several advantages: the ability to grow on both hydrophobic and hydrophilic substrates, resistance to a wide pH range (4.0–11.0), safety for plants and humans, and the capacity to synthesize cell wall-bound biosurfactants that enhance the degradation of petroleum hydrocarbons. The morphological, cytological, cultural, physiological, and biochemical characteristics of the biological agent are presented, along with the description of the raw materials used.

A scheme of the biochemical processes is discussed, and the final product—dehydrated biomass of the biological agent—with a viable cell count of $1.5 \cdot 10^9$ CFU/g is characterized. The equipment and technological flow diagram for bioproduct manufacturing is developed. The production process is described in detail, including the material balance, as well as the control points and parameters of the technological process. The target product is isolated using a conventional scheme: separation, filtration, and drying, as this method ensures effective recovery and dehydration of the product while maintaining the viability of the microbial cells.

A 16 m³ fermenter is selected for the cultivation of *Rhodococcus erythropolis*. Calculations confirm that the chosen fermenter can provide optimal conditions for the cultivation process. The unit is equipped with a turbine stirrer, sparger, jacket, and internal coil. A technical drawing of the fermenter is provided.

BIOPRODUCT, *RHODOCOCCLUS* *ERYTHROPOLIS*, PETROLEUM
HYDROCARBONS, BIOSURFACTANTS, FERMENTER, SOIL.

Перелік скорочень

ПС – поживне середовище

ПАР – Поверхнево-активні речовини

БА – Біологічний агент

НАДФН – Нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат

ЕМП - шлях Ембдена-Мейергофа-Парнаса

ЕД-шлях - шлях Ентнера-Дудороффа

МО - алкан-монооксигеназа

ПАВ – поліциклічні ароматичні вуглеводні

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА, СИРОВИНИ. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ.....	9
1.1 Обґрунтування вибору біологічного агента	9
1.1.1 Систематичне положення продуцента <i>R. erythropolis</i> :	13
1.1.2 Морфолого-цитологічні ознаки	13
1.1.3 Культуральні ознаки	14
1.1.4 Фізіолого-біохімічні ознаки	14
1.1.5 Генетична вивченість	15
1.1.6 Поширеність у природі.....	16
1.1.7 Вибір штаму біологічного агента	16
1.2 Характеристика сировини	18
1.3 Обґрунтування вибору технології	20
РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	24
2.1 Схема перебігу процесів.....	24
2.1.1 Гліколітичні шляхи	25
2.1.2 Деградація алканів.....	26
2.1.3 Розкладання сульфурвмісних сполук, що входять до складу нафти	28
2.1.4 Біосинтез трегалоліпідів	29
2.2 Характеристика кінцевого продукту	30
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	33
3.1 Матеріали основні та допоміжні	33
3.2 Контроль виробництва	35
3.3 Матеріальний баланс	42
3.4 Опис технології	45

					ДП ББ11.16.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Ліщун Н.С.						
Перевірів		Гринюк І.І.					5	91
Т. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Н. Контр.								
Затверд.								

РОЗДІЛ 4. ПІДБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ	53
4.1 Опис та підбір ферментаційного обладнання.....	53
4.2 Конструктивний розрахунок	56
4.3 Тепловий розрахунок	62
4.4 Вибір загальнозаводського обладнання	70
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ.....	72
5.1 Охорона праці	72
5.2 Охорона довкілля.....	75
ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
Додаток А	86

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Забруднення ґрунтів нафтопродуктами є однією з найактуальніших екологічних проблем сучасності, адже щорічні глобальні втрати нафти та її похідних під час видобутку, транспортування, переробки та використання сягають 10-20 мільйонів тонн. Незалежно від причини, всі ці нафтохімічні речовини стають забрудниками, що призводять до деградації ґрунту, атмосфери та води. При цьому ґрунт часто виступає проміжною ланкою між джерелом забруднення та його подальшим розповсюдженням у суміжні середовища – повітря та воду [1].

Проблема забруднення ґрунтів, нафтовими речовинами набуває важливості у контексті сучасних реалій, зумовлених, зокрема, і воєнними діями. Військові конфлікти призводять не лише до значних людських втрат та руйнувань інфраструктури, але й спричиняють критичне забруднення ґрунтів нафтопродуктами. Таке забруднення, викликане рухом та пошкодженням військової техніки, а також руйнуванням промислових об'єктів та інфраструктури, що супроводжується пожежами, призводить до порушення фізико-хімічних, біохімічних та мікробіологічних процесів у ґрунтах. Це, у свою чергу, негативно впливає на водний та повітряний режими ґрунту, кругообіг поживних речовин і кореневе живлення рослин, що може призвести до їх загибелі [2].

Тому розробка та впровадження ефективних технологій очищення забруднених ґрунтів є надзвичайно актуальним завданням. Сучасні підходи до очищення ґрунтів від нафтопродуктів охоплюють низку технологій, які можна класифікувати як фізичні, хімічні та біологічні. Серед них особливе місце займає біоремедіація – використання біологічних агентів, переважно мікроорганізмів, для відновлення забруднених середовищ. Цей метод має значний потенціал як екологічно безпечний та економічно вигідний [3].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ		
Розробив	Ліщун Н.С.						
Перевірив	Гриняк І.І.						
Т. Контр.							
Н. Контр.							
Затверд.							
					Літ.	Арк.	Аркушів
						7	96
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		

Сучасні тенденції в біоре mediaції зосереджені на підвищенні ефективності та швидкості процесу. Це включає розробку та використання біопрепаратів, що містять спеціалізовані мікробні угруповання, здатні до деградації широкого спектру вуглеводнів. Також розвиваються підходи до посилення природних процесів біодеградації (біостимуляція та біоаугментація), оптимізації умов навколишнього середовища для мікробної активності, а також інтеграції біологічних методів з фізичними та хімічними технологіями для досягнення максимальних результатів очищення [3, 4].

Метою даного дипломного проєкту є обґрунтування технології виробництва препарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів на основі бактерій *Rhodococcus erythropolis*.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

- Обґрунтувати вибір біологічного агента, для виробництва препарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів;
- Обґрунтувати вибір технології виробництва препарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів;
- Навести характеристику кінцевого продукту та визначити вимоги до сировини, що використовується у технологічному процесі;
- Розробити технологічну та апаратурну схему виробництва препарату для очистки ґрунтів на основі *Rhodococcus erythropolis*;
- Провести розрахунки та виконати креслення ферментера для виробництва препарату на основі *Rhodococcus erythropolis*;
- Навести рекомендації щодо охорони праці та охорони довкілля на виробництві.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА, СИРОВИНИ. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ

1.1 Обґрунтування вибору біологічного агента

Важливою характеристикою біологічних агентів (БА), що застосовуються для очистки ґрунтів від нафти та її похідних є здатність засвоювати вуглеводні як єдине джерело вуглецю або ж здійснювати деструкцію вуглеводнів шляхом кометаболізму при засвоєнні інших джерел живлення. Зустрічаються мікроорганізми, які здатні окиснювати різні вуглеводні та складні забрудники, як от - n-алкани, ароматичні вуглеводні, парафіни, сірковмісні сполуки, ксенобіотики [5].

Зазвичай для цього використовують бактерії родів *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus*, *Bacillus* [6–9].

Бактерії роду *Pseudomonas* добре вивчені і відомі своєю здатністю до розщеплення речовин, що входять до складу нафти [10]. Одним з найефективніших деструкторів нафти вважається вид *Pseudomonas aeruginosa* – грамнегативна бактерія з надзвичайною метаболічною пластичністю, здатна ефективно розкладати як аліфатичні, так і ароматичні вуглеводні, включно з толуолом та іншими складними сполуками [11]. Даний вид виявляє високу ефективність у біоремедіації ґрунтів, забруднених нафтою, завдяки здатності розкладати до 95% нафтових вуглеводнів за 30 днів. Вони добре пристосовуються до різних типів забруднення і синтезують біосурфактанти, такі як рамноліпіди, які підвищують розчинність і доступність нафтопродуктів для мікробного розкладу. Однак додавання штамів *Pseudomonas aeruginosa* до ґрунту не завжди покращує деградацію, а іноді навіть знижує її ефективність, в порівнянні з місцевою мікрофлорою без додаткового внесення біологічних агентів. Крім того, ефективність залежить від умов середовища, типу забруднення та форми застосування [12, 13].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Ліщун Н.С.				РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА, СИРОВИНИ. ОБґРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ				
Перевірив	Гринюк І.І.								
Т. Контр.									
Н. Контр.									
Затверд.									
					Літ.	Арк.	Аркушів		
						9	96		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ				

Mycobacterium є ефективними біодеструкторами поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), які є одними з найбільш стійких і токсичних компонентів нафти. Завдяки наявності генів, що кодують діоксигенази, ці бактерії здатні окиснювати складні поліциклічні ароматичні сполуки і використовувати їх як джерело вуглецю. Деякі штами також демонструють стійкість до важких металів і можуть функціонувати в агресивному середовищі з низьким вмістом кисню або високим вмістом солей. Вони природно зустрічаються в нафто-забруднених ґрунтах, а їх здатність до мінералізації ПАВ була підтверджена як у лабораторних, так і в польових умовах. До недоліків слід віднести повільний ріст багатьох видів, що ускладнює масштабне застосування та підвищує конкуренцію з боку бактерій здатних до швидкого розвитку. Досліджено, що у дуже забруднених середовищах зменшується різноманіття *Mycobacterium*, що в свою чергу може обмежити ефективність процесу очистки [14–17].

Рід *Rhodococcus* – це грампозитивні аеробні бактерії, які широко розповсюджені в навколишньому середовищі. Серед бактерій роду *Rhodococcus*, найчастіше в якості біологічного агента для очистки від нафтопродуктів використовують *Rhodococcus erythropolis*. Використання даної бактерії в якості деструктора нафтопродуктів має значні переваги завдяки винятковій метаболічній універсальності та стійкості. Ця бактерія здатна розкласти широкий спектр органічних сполук, включаючи моноароматичні сполуки, які є компонентами нафти. Також даний вид синтезує поверхнево-активні речовини (зокрема гліколіпіди та фосфоліпіди), які покращують емульгування нафтопродуктів і їх біодоступність для подальшого розкладання. Дослідження показали, що іммобілізовані клітини *R. erythropolis* ефективно очищають забруднені субстрати, зменшуючи кількість забруднення до 98 %. Незважаючи на ці переваги, ефективність деградації може залежати від початкової концентрації забруднюючих речовин, що будуть використані в якості джерел вуглецю [18–21].

Bacillus subtilis – грампозитивна бактерія, здатна ефективно розкласти широкий спектр нафтових вуглеводнів. Однією з головних переваг є її стійкість до

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високих концентрацій нафтопродуктів, зокрема моторних олив, що підтверджується активним зростанням біомаси (до 55,4%) у присутності мінерального масла. Завдяки здатності до спороутворення, *B. subtilis* добре виживає в несприятливих умовах середовища. Бактерія здатна продукувати біосурфактанти, які полегшують доступ до нафтопродуктів для мікробного розкладу. При експериментах за доволі короткий проміжок часу кількість забруднення зменшувалась на 90 %. Однак є й певні обмеження: ефективність знижується після тривалого культивування. Це пояснюється зменшенням біоактивності, накопичення токсичних проміжних продуктів. Також бактерія гірше справляється з важкими фракціями нафти, наприклад із алканами з великими молекулами [8, 22, 23].

Серед розглянутих особливо виділяють бактерії роду *Rhodococcus*. Вважаються перспективними мікроорганізмами для розкладу складних забруднюючих речовин, як от нафтові вуглеводні. Ці бактерії широко розповсюджені, присутні як в чистих, так і в забруднених районах. Характерні особливості, які притаманні роду *Rhodococcus* і дають можливість широко застосовувати їх для очистки субстратів від забруднень наведено в таблиці 1.1 [19, 24, 25].

Таблиця 1.1 – Особливості *Rhodococcus*, що роблять їх перспективними для використання [18, 19, 24, 26, 27].

Характеристика	Опис	Перевага для використання
Висока різноманітність речовин, які здатні розщеплювати	Ароматичні вуглеводні, аліфатичні, сірковмісні сполуки	Здатні до біодеградації складних забрудників, як от нафта, різного роду ксенобіотики

Продовження таблиці 1.1

Стійкість до низького рівня аерації	Здатні виживати при обмеженій наявності кисню	Деструкція забрудників в умовах малого доступу кисню, як от щільні ґрунти.
Оліготрофність і фіксація азоту	Ріст за умов обмеженого живлення та стійкість до тривалої відсутності поживних речовин.	Біоремедіація в за умов нестачі ресурсів
Відсутність репресії, при наявності легкозасвоюваних речовин	Біодеградація забруднювачів не пригнічується присутністю легкозасвоюваних поживних речовин.	Деструкція в субстратах багатих на органічні речовини
Адаптованість до гідрофобних субстратів	Гідрофобність клітинної поверхні	Значна ефективність розщеплення гідрофобних забруднювачів.
Адгезія	Здатність приєднуватись до складних субстратів	Прив'язка до субстратів, що дозволяє продовжити час деструкції забруднюючих речовин.
Стійкість до складних умов	Стійкість до перепадів температур, низького вмісту солей, рН.	Очистка субстратів в складних умовах

Бактерії роду мають *Rhodococcus* складну клітинну оболонку, яка утворена пептидоглікано-арабіноглікановим скелетом, до складу якого входять від 30 до 54 атомів вуглецю, зв'язані з міколовими кислотами, які становлять понад 40%

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загальної маси клітинної стінки. Дані кислоти можуть бути у вигляді – диміколатів трегалози, мономіколових ліпідів [27].

Серед бактерій даного роду, *Rhodococcus erythropolis* становлять значний інтерес. Причиною цього є те, що дані бактерії здатні розкладати мікотоксини, вуглеводні, проводити десульфування нафти та її похідних, також даний вид здатний синтезувати біосурфактанти – біологічні поверхнево-активні речовини (ПАР). Зафіксовано, що чим краще синтезуються ПАР, тим ефективніше проходить процес розкладання забрудників [24, 27].

1.1.1 Систематичне положення продуцента *R. erythropolis*:

Домен – *Bacteria*;

Царство – *Bacillati*;

Тип – *Actinomycetota*;

Клас – *Actinomycetes*;

Порядок – *Mycobacteriales*;

Родина – *Nocardiaceae*;

Рід – *Rhodococcus*;

Вид – *Rhodococcus erythropolis* [26].

1.1.2 Морфолого-цитологічні ознаки

Rhodococcus erythropolis, рисунок 1.1 – це вид аеробних грампозитивних бактерій роду *Rhodococcus*. Однією з характерних особливостей бактерій роду *Rhodococcus* є плеоморфізм — здатність змінювати морфологію клітин залежно від стадії клітинного циклу. Типовий клітинний цикл розвитку *Rhodococcus* включає послідовну зміну форм: коки – нитчасті форми - палички - коки. Даний вид має незвичний склад клітинної оболонки, що характеризується високим вмістом міколевої кислоти, яка допомагає підвищити гідрофобність. Ця характеристика допомагає бактерії існувати між полярними та неполярними носіями [24, 26].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Культура *R. erythropolis* на агаризованому середовищі [28].

1.1.3 Культуральні ознаки

Rhodococcus erythropolis при культивуванні утворюють розгалужені форми, однак можуть спостерігатися і морфологічні зміни. Бактерії можуть при різноманітних умовах, що свідчить про їхню не вибагливість та значну стійкість. Штами виділені з ґрунту, забрудненого нафтою, демонструють здатність до активного росту на різних джерелах вуглецю, зокрема на н-гексадекані як єдиному джерелі вуглецю. Залежно від умов культивування, вони можуть утворювати біоплівки [18,26].

R. erythropolis формує непрозорі колонії від жовтого до помаранчевого кольору з гладкою або трохи складчастою поверхнею. Бактерія не утворює повітряного міцелію, колонії демонструють характерний цикл – клітини можуть переходити від паличкоподібної до кулястої форми залежно від стадії росту. У рідких середовищах спостерігається помірне помутніння без утворення плівки на поверхні [26].

1.1.4 Фізіолого-біохімічні ознаки

Бактерії є аеробними, добре ростуть при температурі 30 °С, оптимальне значення рН для життєдіяльності 6,5–9,5. *Rhodococcus erythropolis* демонструє високу метаболічну активність та універсальність, це дозволяє даному виду

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розщеплювати велику кількість різних сполук. Ця здатність обумовлена наявністю кількох різних ферментних систем. Основними вуглецевими джерелами можуть бути глюкоза, фруктоза, сорбітол. Крім цього, бактерія також здатна засвоювати гідрофобні сполуки, як-от *n*-гексадекан або парафіни. Даний вид активно синтезує ПАР, що дозволяє знижувати поверхневий натяг, а це в свою чергу полегшує розкладання густих речовин, як от нафта [20,27].

Клітинна стінка *R. erythropolis* містить міколові кислоти з 30–54 атомами вуглецю, що надає клітині гідрофобних властивостей. Ці бактерії також здатні продукувати флокулянти — біополімери, що сприяють флокуляції органічних та неорганічних речовин у середовищі [20].

1.1.5 Генетична вивченість

Rhodococcus erythropolis виступає об'єктом інтенсивних генетичних досліджень, причиною цього є універсальність метаболічних шляхів та потенціалу в біотехнології. Зокрема, відомо, що *Rhodococcus erythropolis* містить різноманітні гени, відповідальні за деградацію вуглеводнів. Гени, що кодують ферменти, які відповідають за розкладання моноароматичних сполук, активно експресуються та регулюються залежно від субстрату та його початкової концентрації. Ці гени є сильними індукторами метаболізму цих сполук. Дослідження зафіксували наявність генів, які кодують ферменти, що беруть участь у деградації алканів. Це є ще одним підтвердженням значного потенціалу даних бактерій у біоремедіації [19, 21,26].

Генетичні дослідження також сфокусовані на біосинтезі ПАР, таких як гліколіпіди та фосфоліпіди. Ідентифікація та характеристика генів, що беруть участь у виробництві цих сполук, є ключовою для оптимізації їх продукції. Наявність великого та складного геному, часто з кількома плазмідами, сприяє їхній метаболічній гнучкості та дозволяє їм адаптуватися до широкого спектру забруднювачів [26].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.6 Поширеність у природі

Rhodococcus erythropolis є дуже поширеним видом бактерій. Зустрічається в гірських ґрунтах, рівнинних ґрунтах, морській воді, сильно забруднених нафтою субстратах. Значна поширеність пояснюється високою стійкістю даного виду до несприятливих умов довкілля. Також на це впливає наявність різних метаболічних шляхів, які дозволяють використовувати як джерела поживних речовин різноманітні сполуки – від моносахаридів, до ароматичних вуглеводнів [18,19].

1.1.7 Вибір штаму біологічного агента

Біологічним агентом обрано *R. erythropolis* EK-1. Обраний БА має ряд переваг перед іншими поширеними штамами даного виду. Порівняльну характеристику наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика штамів *Rhodococcus erythropolis* [18,19,29,30]

Параметр	Штам			
	EK-1	ATCC 4277	DSM 43215	SD-74
Країна походження	Україна	США	Німеччина	Японія
Субстрати для росту	Етанол, n-гексадекан, парафін, глюкоза	Гліцерин, n-гексадекан	Керосин, алкани C ₁₄ –C ₁₅	n-гексадекан
Тип синтезованих ПАР	Гліко-, фосфо- та нейтральні ліпіди, трегалозо-мономіколати	Трегалозо-мономіколати	Трегалозо-мономіколати, трегалозо-диміколати	Сукциніл-трегалозо-ліпіди

Продовження таблиці 1.2

Локалізація ПАР	Клітинно- зв'язані, Вільні	Вільні	Вільні	Вільні
Рекомендовани й вміст солей в ПС	До 3 г/дм ³	До 10 г/дм ³	До 10 г/дм ³	До 10 г/дм ³
Потреба в мікроелементах	Не обов'язкові	-	Потребують	Потребують
Ефективність деструкції нафти	До 94 %	Низька	Не досліджувалась	Не досліджувалась

Ефективність біоремедіації забрудників даним видом бактерій на пряму залежить від здатності синтезу ПАР [27]. У випадку використання даних штамів для отримання препаратів для очистки ґрунтів від нафтопродуктів, важливими є швидкість та ефективність проходження даного процесу. Ефективність на пряму залежить від кількості ПАР, присутніх на початку процесу [5,18].

З цього слідує, що при використанні у якості БА штамів *R. erythropolis* ATCC 4277, *R. erythropolis* DSM 43215, *R. erythropolis* SD-74, потрібно вносити їх в субстрат разом з культуральною рідиною в якій наявні синтезовані клітинами ПАР або вносити ПАР додатково при обробці субстрату препаратом клітин. У випадку використання штаму *R. erythropolis* EK-1, достатньо вносити клітини бактерій. Адже синтезовані ними біосурфактанти є як у вільній формі, як у попередньо розглянутих штамів, так і у формі зв'язаних з клітинною оболонкою. Ця властивість дозволяє виробляти препарат для очистки ґрунтів у формі зневодненої біомаси штаму *R. erythropolis* EK-1. Перевагою такої форми є: довший термін зберігання;

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливість комбінованого внесення разом з іншими препаратами; легкість зберігання та транспортування; простота застосування [18,19,30].

Ще однією перевагою обраного штаму є можливість використовувати для культивування як гідрофобні, так і гідрофільні субстрати. Перевагою такої властивості є те, що комбінуючи різні субстрати для культивування можна регулювати властивості, якими буде наділений кінцевий продукт. Як от більший вихід біомаси, синтез ПАР, синтез біоемульгаторів, тощо [19,29,31].

Особливість даного штаму – значно менша потреба в мікро- та макро-елементах. Даний штам був виділений з сильно-забрудненого нафтою, бідного на вміст мінеральних речовин субстрату. Звідси пристосованість даного штаму до надскладних умов [18,30].

1.2 Характеристика сировини

Сировиною для виробництва препарату на основі бактеріальної культури *Rhodococcus erythropolis* виступають органічні та мінеральні компоненти, що входять до складу поживного середовища (ПС).

Особливістю штаму *R. erythropolis* ЕК-1 є можливість використання для вирощування як гідрофільних так і гідрофобних субстратів [18,19]. Для культивування обраного БА, використовують такі джерела вуглецю: Глюкоза, парафін, етанол, n-гексадекан [19].

Гідрофільні субстрати:

Глюкоза – Моносахарид, виступає найпростішим джерелом вуглецю. Легко засвоюється клітинами бактерій.

Етанол – C_2H_5OH – безбарвна рідина з характерним спиртовим запахом [32]. Виступає кращим джерелом вуглецю в порівнянні з глюкозою, забезпечуючи при культивування більший вихід біомаси [18,31]. Вирощувані на етанолі бактерії характеризуються більшою швидкістю росту [18].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гідрофобні субстрати:

Рідкий парафін – суміш алканів з кількістю атомів вуглецю $C_{10}-C_{14}$ [32]. При культивуванні на рідких парафінах спостерігається найвищий вихід біомаси серед гідрофобних субстратів [29].

n-гексадекан – алкановий вуглеводень, до складу якого входить 16 атомів карбону С [25]. При вирощуванні бактерій на гексадекані фіксується вихід великого різноманіття ПАР [18].

При культивацію бактерій на гідрофільних субстратах, знижується до мінімального вміст гліколідів похідних трегалози, що утворюють зв'язки з клітинною стінкою. Це може погіршувати ефективність деструкції складних забрудників, як от нафта [18,33]. Натомість збільшується вихід біоемульгаторів, що дозволяють кращому змішуванню та утворенню емульсій, що полегшує процеси біоремедіації забрудників [19].

Як основні джерела вуглецю для ПС обрано: етанол та рідкі парафіни. Ці джерела вуглецю обрано як оптимальний варіант між синтезом різноманітних біосурфактантів та біофлокулянтів та між максимальним приростом біомаси клітин в процесі культивування.

Мінеральні компоненти:

Солі мікро- та макроелементів - $NaNO_3$; $NaCl$; Na_2HPO_4 ; KH_2PO_4 ; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – іони заліза стимулюють ріст клітин [18].

Допоміжними матеріалами вважаються всі речовини та матеріали, що не беруть прямої участі в процесі культивування культури *Rhodococcus erythropolis*, однак необхідні для виконання допоміжних процесів. Також вони необхідні, щоб забезпечувати санітарну обробку виробничих приміщень та обладнання.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Уся сировина, що надходить на виробництво, підлягає вхідному контролю з метою перевірки відповідності маркуванню, документам що засвідчують якість сировини, тощо.

1.3 Обґрунтування вибору технології

Основними етапами виробництва є:

- Підготовка приміщень та персоналу;
- Підготовка поживних середовищ;
- Виробниче культивування;
- Зневоднення біомаси;
- Пакування.

Виробничий процес включає виконання допоміжних операцій. Першим етапом є санітарна підготовка виробництва. Цей етап охоплює підготовку персоналу, мийних і дезінфікуючих засобів, а також санітарну обробку виробничих приміщень. Далі здійснюється підготовка технологічного обладнання та комунікацій. Утворені в процесі роботи відходи підлягають знешкодженню або утилізації.

Перед початком нового виробничого циклу обов'язково проводяться миття та стерилізація обладнання. Ці процедури виконують не лише перед запуском, а й під час планових або капітальних ремонтів, а також у разі аварійних зупинок [34].

Для промивання елементів комунікаційних систем використовують воду з температурою 35–40 °С, обробляючи обладнання протягом 2–10 хвилин. Стерилізація здійснюється гарячою парою при температурі 120–126 °С протягом 60 хвилин, оскільки використання хімічних дезінфікуючих засобів може спричинити їх потрапляння у готовий продукт [35].

Для виробництва використовуються два ПС:

Середовище для отримання інокуляту, г/дм³:

NaNO₃ – 1,3;

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

NaCl – 1,0;

Na₂HPO₄ – 0,6;

KH₂PO₄ – 0,14;

MgSO₄·7H₂O – 0,1;

рідкі парафіни – 0,01 % від об'єму;

pH 6,8 – 7,0 [18, 29, 30].

Середовище для виробничого культивування, г/дм³:

NaNO₃ – 1,3;

NaCl – 1,0;

Na₂HPO₄ – 0,6;

KH₂PO₄ – 0,14;

MgSO₄·7H₂O – 0,1;

FeSO₄·7H₂O – 0,001;

рідкі парафіни – 1 % від об'єму;

етанол – 2 % від об'єму;

pH 6,8 – 7,0 [18, 29, 30].

Виробниче культивування здійснюється у ферментері, з перемішуючим пристроєм – турбінною мішалкою. Умови проведення процесу: Частота перемішування – 200 об/хв; Температура – 30 °С; Аерація – 1 м³/м³×год, оскільки при високій аерації збільшується вихід біомаси [18].

Цільовий продукт даного виробництва – зневоднена біомаса, яку отримують виділяючи біомасу клітин з культуральної рідини та видаляючи залишки вологи. В сучасній промисловості існує ряд методів, що використовують для виділення продукту, а саме:

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічні – фільтрування, відстоювання, центрифугування, сепарування, розділення на гідроциклонах;

Теплотехнічні – випарювання та сушіння [36].

Вибір методу залежить від вмісту вологи в біомасі. Для суспензій клітин з низькою концентрацією, застосовують сепарування або флотацію. Для більш концентрованих суспензій – фільтрацію, сушіння. Для виділення речовин застосовують випарювання, підбираючи оптимальний температурний режим в залежності від властивостей продукту [34]. Часто на виробництвах комбінують дані методи, щоб отримати зневоднену біомасу.

Зневоднення біомаси буде проводитись за типовою схемою: сепарація, фільтрація, сушіння. Оскільки метою є виробництво зневодненої біомаси, то в процесі буде змінюватись ступінь зневоднення: від суспензії з низькою концентрацією клітин, з якої потрібно прибрати велику кількість рідини, до суспензій з високою концентрацією клітин, в яких залишається не велика кількість не зв'язаної вологи. Завершується процес сушінням, щоб прибрати залишки вологи, яку не можливо прибрати механічним способом.

У випадку цільового продукту виробництва, важливо зберегти активність клітин. Для цього клітини швидко відділяють від культурального середовища. Для виконання цього процесу чудово підходять сепаратори, які є різновидом центрифуг. Центрифугування – це розділення під дією поля відцентрових сил, з використанням центрифуг [36].

Сепарація – це процес відділення біомаси від культуральної рідини. Даний процес проходить за рахунок розділення речовин з різною густиною в полі відцентрової сили, яка виникає при обертанні. Концентрат, що містить в собі клітини із частиною культуральної рідини відкидається до країв і поступає в об'єм ротора для речовини. Після цього концентрат потрапляє у верхній грейфер, що перетворює енергію руху обертання в тиск і через злив виводиться назовні [34,35].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фільтрування – це процес розділення суспензії на тверду та рідку фазу, за рахунок пропускання її через перегородку. Різниця тисків по обидві сторони перегородки виступає рушійною силою процесу фільтрування [36]. Для цього процесу використано барабанний вакуум-фільтр, який дозволяє ефективно здійснювати процес з мінімальним залученням працівників для забезпечення роботи.

Після оброблення культуральної рідини та розділення твердої і рідкої фази отримується волога біомаса. Біомаса є термолабільним матеріалом, при підвищених температурах, може втрачатись біологічна активність. Задля збереження активності біомасу потрібно висушувати. Основними методами сушіння продуктів мікробіологічного синтезу є теплове при атмосферному тиску, під вакуумом або під глибоким вакуумом при температурах в інтервалі від -30 °C до +60 °C. Оскільки матеріал є термолабільним, то потрібно сушити при низьких температурах. Для цього використано сушарку розрідженого шару, оскільки вона здатна забезпечити достатню ефективність та швидкість висушування, щоб зберегти активність клітин. Обрано температуру теплоносія – 32 °C [34,35].

Висновок: Було обрано біологічний агент – *R. erythropolis EK-1*. Він має такі переваги: здатність рости на гідрофобних та гідрофільних субстратах, здатність до синтезу асоційованих з клітинною стінкою поверхнево-активних речовин, низька патогенність до рослин та людей, стійкість до рівня рН 4,0-11,0. Обрано сировину для виробництва препарату на основі *R. erythropolis EK-1*, наведено основні вимоги. Обґрунтовано технологію виробництва препарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів із схемою виділення цільового продукту – сепарація, фільтрування, сушіння, оскільки дана технологія забезпечує ефективне виділення та зневоднення цільового продукту, дозволяючи зберегти активність біомаси.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Схема перебігу процесів

У природних умовах розкладання нафти відбувається у три основні стадії. Перша стадія характеризується різноманітними фізико-хімічними процесами, зокрема випаровуванням та вивітрюванням, що сприяють усуненню летких і токсичних низькомолекулярних сполук. Інтенсивність цих процесів визначається властивостями нафти та умовами середовища. На другій стадії активізується діяльність місцевих мікроорганізмів, які починають розщеплювати нафтові вуглеводні, використовуючи їх як джерело енергії. Цей етап може тривати роками. Прості вуглеводні, такі як *n*-алкани та моноароматичні сполуки, руйнуються швидше, тоді як складніші – поліциклічні ароматичні сполуки, смоли та асфальтени – зберігаються довше. Водночас накопичуються продукти часткового розкладу — ефіри, альдегіди та кетони. Третя стадія передбачає розщеплення лише стійких високомолекулярних фракцій, які мікроорганізми здатні руйнувати лише за умови кометаболізму — побічного процесу, а не як основного джерела живлення. Самоочищення ґрунту від нафти — повільний процес, на який впливають фізичні та хімічні властивості ґрунту, зокрема його структура, вологість, доступ кисню, рН, вміст органіки, а також активність ґрунтової мікрофлори [5].

Прискорення процесу очищення можливе. Для цього можна вносити поживні речовини в ґрунт, щоб стимулювати розвиток вже наявних там мікроорганізмів, які використовуватимуть нафтові вуглеводні в якості джерела живлення. Інший спосіб передбачає додаткове внесення мікроорганізмів деструкторів нафти [4,5].

Представники роду *Rhodococcus* — це аеробні не спороутворюючі бактерії, які широко поширені в різноманітних природних середовищах [25,26].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 2. Біохімічні основи технологічного процесу	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Лісун Н.С.						24	96
Перевірів	Гринюк І.І.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Т. Контр.								
Н. Контр.								
Затверд.								

2.1.1 Гліколітичні шляхи

Ефективність деструкції забруднюючих речовин обраним продуцентом не знижується, за наявності простіших джерел вуглецю та поживних речовин, навпаки це може сприяти кращому росту бактерій [18]. Гліколіз (шлях Ембдена-Мейергофа-Парнаса, ЕМП) є поширеним шляхом для окислення. За цим шляхом глюкоза розщеплюється на дві молекули піровиноградної кислоти з утворенням двох молекул АТФ. Багато аеробних бактерій та архей використовують альтернативний гліколітичний шлях, так званий шлях Ентнера-Дудороффа (ЕД-шлях), який продукує гліцеральдегід-3-Ф, піруват і лише одну молекулу АТФ з кожної молекули глюкози. Цей шлях зустрічається у прокаріотів та інших грамнегативних бактерій. Однак, поява ЕД-шляху також була описана у актинобактерій [25].

Представники роду *Rhodococcus* мають необхідні гени для здійснення Пентозофосфатного шляху (ПФШ). Цей шлях продукує попередник рибозо-5-фосфату, що використовується в синтезі нуклеїнових кислот, а також еритрозо-4-фосфат для синтезу ароматичних амінокислот. Крім того, ПФШ був пов'язаний з виробництвом НАДФН в анаеробних процесах [25,26].

У той час як метаболізм глюкози за допомогою ЕМП генерує два відновлювальні еквіваленти у формі НАДН, шляхи ЕД та ПФШ генерують один та два відновлювальні еквіваленти відповідно у формі НАДФН [19]. НАДФН виступає важливим відновлювальним еквівалентом у більшості біосинтетичних шляхів, як от синтез жирних кислот. Також він необхідний для біосинтезу ліпідів, надходить з кількох шляхів у цих бактеріях. Гліколітичний шлях також сприяє утворенню попередників для біосинтезу ліпідів, таких як триацилгліцероли у деяких *Rhodococcus* видів [25].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2.1.2 Деградація алканів

Алкани — це насичені вуглеводні із загальною формулою C_nH_{2n+2} , що складаються з атомів вуглецю та водню; вони можуть мати різні форми, як от: лінійні (*n*-алкани), циклічні (циклоалкани) або ж розгалужені (*ізо*-алкани) [32].

Алкани є найпоширенішими вуглеводнями у сирій нафті. Вони також природним чином виробляються живими організмами як відходи, хемоатрактанти або для структурних та захисних цілей. У зв'язку з цим, алкани були виявлені в складі більшості ґрунтових та водних систем [25].

Багато представників роду *Rhodococcus* здатні використовувати алкани в якості джерел енергії та вуглецю, при цьому демонструючи значні показники росту [19].

Щоб бути розщепленими, алкани повинні спочатку перетнути зовнішню гідрофільну клітинну стінку грампозитивних бактерій, а потім проникнути через периплазматичну клітинну мембрану, щоб отримати доступ до цитозолу. Біодоступність обмежена гідрофобним характером цих сполук, тому поверхня клітини повинна сприяти контакту між даними нерозчинними у воді молекулами для ефективного процесу біодеградації. Представники роду *Rhodococcus* змогли виробити в собі кілька пристосувань, що дозволяють їм подолати це обмеження [37].

Механізми контакту клітин *Rhodococcus* з алканами:

- Контакт пов'язаний зі збільшенням гідрофобності клітинної мембрани через зміну складу міколових кислот та фосфоліпідів;
- Контакт опосередкований біосурфактантами, які після вироблення залишаються пов'язаними з клітинною стінкою;
- Біосурфактанти виділяються з клітини та дозволяють емульгувати молекули алканів;

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Синтез позаклітинних полімерних речовин, які посилюють контакт алкан-клітина [37].

Вуглеводні, що адсорбуються на поверхні мікробних клітин, можуть перетинати цитоплазматичну мембрану за допомогою трьох основних механізмів, а саме: пасивна дифузія; пасивна полегшена дифузія; активний транспорт. Гідроксилування алканів алкан-монооксигеназами (МО) є першим і найважливішим етапом аеробного метаболізму алканів. Кисень активує молекули алканів, що призводить до трансформації алканів у алканоли. У свою чергу алканоли можуть розщеплюватись клітиною виступаючи як джерело енергії та вуглецю [25,37].

Залежно від ферментативної активності та селективності алкан-монооксигенази, задіяної у першому етапі окислення, алкани окислюються до первинного спирту, вторинного спирту або суміші двох ізомерів. Після початкового етапу окислення метаболізм середньо- та довголанцюгових алканів у *Rhodococcus* зазвичай відбувається за термінальним, субтермінальним або бі-термінальним шляхом окислення. У шляху термінального окислення алкан окислюється до відповідного первинного спирту, який далі окислюється до відповідного альдегіду за допомогою спиртових дегідрогеназ, а потім до відповідної жирної кислоти за допомогою альдегідних дегідрогеназ. У шляху бі-термінального окислення жирна кислота, що утворюється шляхом термінального окислення, далі окиснюється ω-жирнокислотою монооксигеназою для утворення дикарбонової кислоти. У субтермінальному шляху алкан окислюється до відповідного вторинного спирту, який перетворюється на відповідний кетон, а потім окислюється до естеру за допомогою монооксигенази Баєра-Віллінгера. Потім естер гідролізується до спирту та молекули жирної кислоти. У всіх випадках шляхи окислення алканів призводять до утворення CoA-активованих жирних кислот, які вступають у процес β-окислення, що генерує проміжні продукти циклу трикарбонових кислот для використання як джерела вуглецю та енергії [18,37,38].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Розкладання сульфурвмісних сполук, що входять до складу нафти

Сірка є третім за поширеністю елементом у сирій нафті, її вміст може коливатися від 0,05% до 10%. До складу нафти крім елементарної сірки, сульфатів, сульфідів, тіосульфатів та сульфідів, також входять понад 200 органічних сполук, що містять сірку. Сюди належать сульфіді, тіоли, тіофени, заміщені бензо- та дибензотіофени, бензонафтотіофен, а також багато значно складніших молекул [39].

Тіофени виступають найпоширенішою формою, у якій присутня сірка. Дибензотіофен (DBT), бензотіофен (BT), рисунок 2.2, та їхні похідні є основними ароматичними сполуками, що містять сірку, у паливі, і становлять до 70% від загального вмісту сірки [40].

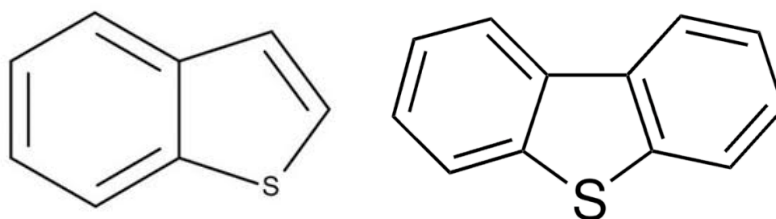


Рисунок 2.1 – Бензотіофен (ліворуч) та дибензотіофен (праворуч) [41].

Шлях, який специфічно розщеплює зв'язок C–S під час метаболічної десульфуризації, отримав назву шлях «4S», рисунок 2.3 [40].

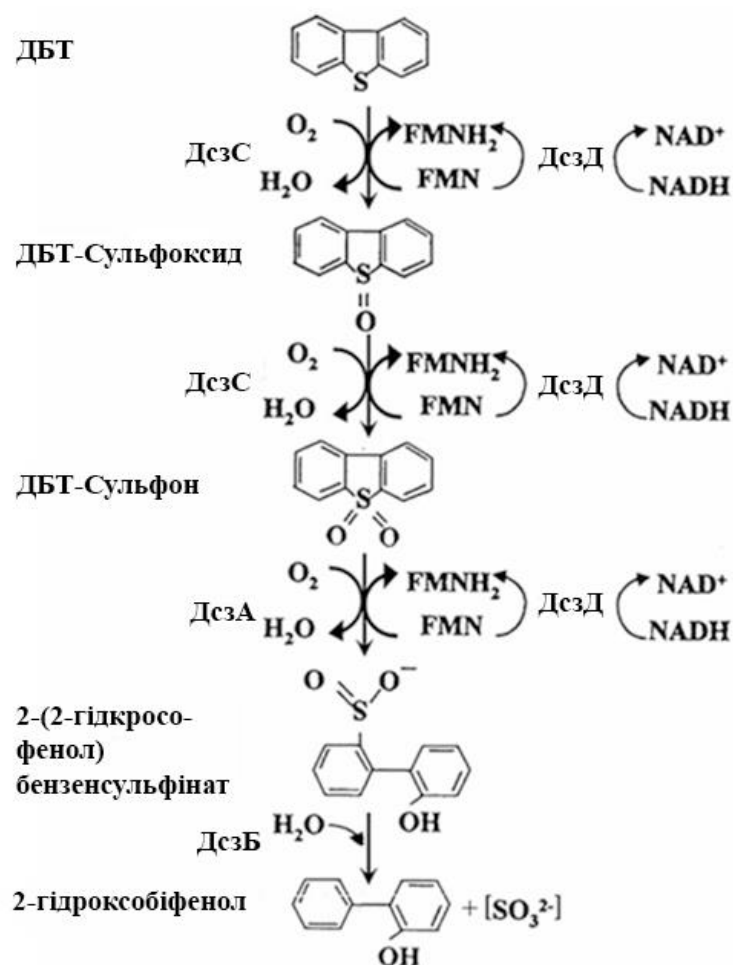


Рисунок 2.2 – «4S» шлях біодеструкції дибензотіофену [39].

2.1.4 Біосинтез трегалоліпідів

Вважається, що гідрофільна частина трегалоліпідів та гідрофобна синтезуються незалежно одна від одної, після чого відбувається їх естерифікація. Жирні кислоти можуть утворюватися за участю кількох метаболічних шляхів, зокрема шляхом поетапного окиснення алканових сполук до спиртів, потім до альдегідів і карбонових кислот, із подальшим подовженням їхнього вуглецевого ланцюга. У синтезі трегалоліпідів також можуть брати участь проміжні продукти β -окиснення жирних кислот [19,42]. Головним ферментом у синтезі вуглеводної частини трегалоліпідів є трегалоза-6-фосфатсинтаза. Було також передбачено існування альтернативного шляху для біосинтезу трегалози. Він проходить за участі ферментів мальтологозилтрегалозисинтази та

мальтологозилтрегалогідролази [42]. Схема шляхів синтезу трегалоліпідів зображена на рисунку 2.4.

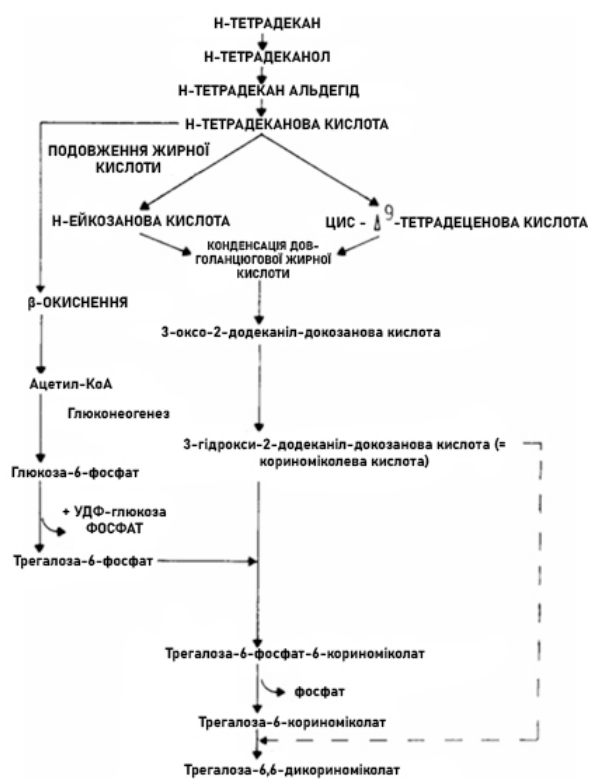


Рисунок 2.3 – Схема синтезу тригалофо міколатів [42].

2.2 Характеристика кінцевого продукту

Форма цільового біопрепарату – порошкоподібна зневоднена біомаса.

Фасування: фасують в упаковки, рисунок 2.1, по 1 кг біомаси. На упаковку клеїться стікер на якому міститься: Назва препарату, склад препарату, спосіб застосування, умови зберігання, термін зберігання, біологічна дія препарату, призначення препарату, заходи безпеки, рекомендації щодо застосування, адреса та потужності виробника, штрих-код.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 – Упаковка для препарату [43].

До складу препарату входить:

- Бактерії культури *R. erythropolis* *EK-1*. Титр життєздатних клітин – $1,5 \cdot 10^9$ КУО/г.
- Продукти метаболізму мікроорганізмів – синтезовані ПАР, переважно ліпідні комплекси.

Призначення:

Даний препарат призначений для очистки ґрунтів від нафти та її похідних. Препарат повинен забезпечити зниження вмісту забрудника на 75-90 % протягом 80 діб з моменту застосування [5].

Біологічна дія препарату:

Синтезовані бактеріями ПАР здійснюють диспергуючу дію на нафту та її похідні [30].

Деструкція широкого спектру забрудників – сира нафта, бензин, дизель, парафіни, мастила. Трансформація до більш простих сполук [30].

Збільшення кількості вуглецю, в наслідок трансформації забрудників, як от нафти, дозволяє стимулювати відновлення мікробіому ґрунту [5].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спосіб та особливості застосування:

Кількість біомаси розводять у воді для досягнення концентрації 5 г/дм³. Обробляють забруднену ділянку ґрунту.

Рекомендовано проводити обробку при сонячній погоді, температура повітря 20-25 °С. Найкраще обробку проводити в весняно-літній сезон. Допускається обробка в інших умовах, що може впливати на швидкість деструкції забрудника.

Термін зберігання та умови:

Термін зберігання – 12 місяців.

Умови зберігання – зберігати в герметичній упаковці при температурі від +5 °С до +25 °С в сухому, захищеному від дії сонячного світла місці [44].

Заходи безпеки:

Препарат не є патогеном, є безпечним для рослин, тварин та людей [19].

Даний препарат відноситься до класу мало небезпечних продуктів. Після закінчення терміну зберігання не потребує спеціального способу утилізації [45].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Матеріали основні та допоміжні

Для отримання кінцевого продукту необхідним є наявність мінерального ПС з джерелом вуглецю – рідкими парафінами та етанолом для отримання продуценту. Крім основних матеріалів також необхідні допоміжні матеріали. Вони дозволяють забезпечити підготовку виробництва до культивування, також їх наявність необхідна для надання товарного виду кінцевому продукту. Усі основні та допоміжні матеріали наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні та допоміжні матеріали

Найменування	Категорія і номер НТД, згідно з яким перевіряється сировина	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1	2	3	4
1. Основна сировина:			
1.1 NaNO ₃	ISO / TS 19657:2017	Масова частка не менше 98 %	Компонент ПС
1.2 NaCl	ДСТУ ISO 2479-2001	Масова частка не менше 98 %	Компонент ПС
1.3 Na ₂ HPO ₄	ГОСТ 245-76	Масова частка не менше 98 %	Компонент ПС
1.4 KH ₂ PO ₄	ДСТУ 8145:2015	Масова частка не менше 98 %	Компонент ПС

					ДП ББ11.16.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 3. Технологічна частина		
Розробив	Ліщун Н.С.						
Перевірів	Гриняк І.І.						
Т. Контр.							
Н. Контр.							
Затверд.					Літ. Арк. Аркушів		
					33 96		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		

Продовження таблиці 3.1

1.5 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	ДСТУ 7274:2012	Масова частка не менше 98 %	Компонент ПС
1.6 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	ДСТУ 2463-94	Масова частка не менше 98 %	Компонент ПС
1.7 Рідкі парафіни	ДСТУ 4153-2003	Масова частка не менше 98 %	Компонент ПС
1.8 Етанол	ДСТУ 4221:2003	Концентрація не менше 96 %	Компонент ПС
1.9 Вода очищена	ДСТУ 7525-2014	Кольоровість, каламутність, смак, запах, рН, жорсткість, вміст мікроорганізмів згідно НТД	Компонент ПС та для мийних розчинів
2. Допоміжна сировина:			
2.1 Кислота соляна	ДСТУ 2904-94	Масова частка, не менше 36 %	Контроль рН
2.2 Натрій їдкий технічний	ДСТУ ISO 979-2001	Масова частка їдкого натрію, не менше 96 %	Контроль рН
2.3 Піногасник	-	Масова частка, не менше 96 %	Запобігання спінення ПС при культивуванні
2.4 Вода технічна	ДСТУ 7525:2014	Відсутність механічних часточок	Холодильний теплоагент

Продовження таблиці 3.1

3. Матеріали:				
3.1 Колби	ДСТУ 1042:2005	ISO	Згідно з стандартом	Відновлення культури
3.2 Пакети із зіп локом	ДСТУ 7275:2012		Згідно з стандартом	Первинне пакування готового продукту
3.3 Папір для етикеток	ТУ 9571-002-14350732-2006		Вигляд	Маркування
3.4 Картонні коробки	ДСТУ 8401:2015		Згідно з стандартом	Вторинне пакування готового продукту

3.2 Контроль виробництва

Точки контролю наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Точки і параметри контролю виробництва

№	Найменування стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Метод контролю параметра, тип приладу	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення
1	ДР 1.2 Кх 1.2.1	Концентрація	На початку ново циклу	Ваговий	$\pm 0,1 \%$

Продовження таблиці 3.2

2	ДР 1.3 Кт 1.3.1 Кмб 1.3.2	Вміст мікрочастинок	На початку ново циклу	Аналізатор повітря	Мінімальни й
		Вміст мікроорганізмів		Мікробіологіч ний аналіз	Клас D <100 КУО
3	ДР 1.4 Кт 1.4.1 Кмб 1.4.2 Кх 1.4.3	Температура	На початку ново циклу	Термометр	121 °С
		Тиск		Манометр	0,15-0,2 МПа
		Вміст мікроорганізмів		Мікробіологіч ний аналіз	Клас D <100 КУО
		Час		Годинник	30 хв
4	ДР 2.1 Кт 2.1.1	Цілісність перегородок	На початку циклу	Візуальна	Цілий
5	ДР 2.2 Кт 2.2.1	Ефективність очистки	Згідно з інструкцією	Аналізатор повітря	60 %
6	ДР 2.3 Кт 2.3.1	Тиск	На початку циклу	Манометр	0,25-0,3 МПа
7	ДР 2.4 Кт 2.4.1	Вологість	На початку циклу	Психометр	40-60 %
		Температура			25-27°С
8	ДР 2.5 Кт 2.5.1 Кмб 2.5.2	Ефективність очистки	На початку циклу	Аналізатор повітря	95 %
		Вміст мікроорганізмів		Мікробіологіч ний аналіз	< 2 КУО

Продовження таблиці 3.2

9	ДР 2.6 Кт 2.6.1 Кмб 2.6.2	Ефективність очистки	На початку циклу	Аналізатор повітря	99,9999 %
		Вміст мікроорганізмів			
		Вміст мікроорганізмів		Мікробіологіч ний аналіз	< 2 КУО
10	ДР 3.1 Кт 3.1.1	Ресурс фільтра	Раз на цикл	Відбір проб	Прозорість
11	ДР 3.2 Кт 3.2.1 Кх 3.2.2	pH	Визначенн я в реальному час	Електрод	6,8-7,0
		Електропровідні сть			3,5-5,0 µEs
12	ДР 3.4 Кт 3.4.1	Електропровідні сть	Визначенн я в реальному час	Електрод	3,5-5,0 µEs
13	ДР 4.1 Кх 4.1.1	Концентрація	Під час операції	Відбір проб	10 %
14	ДР 4.2 Кх 4.2.1	Концентрація	Під час операції	Відбір проб	10 %
15	ДР 4.3 Кх 4.3.1 Кмб 4.3.2 Кт 4.3.3	Концентрація	Під час операції	Відбір проб	1 %
		Вміст мікроорганізмів	Під час операції	Мікробіологіч ний аналіз	-
		Температура	Під час операції	Термометр	121 °C

Продовження таблиці 3.2

16	ДР 5.1	Концентрація	Під час операції	Ваговий	$\pm 0,0001$ г
	Кт 5.1.1 Кх 5.1.2	pH	Під час операції	Електрод	6,8-7,0
17	ДР 5.2	Температура	Під час операції	Термометр	121 °C
	Кт 5.2.1 Кмб 5.2.2	Вміст мікроорганізмів	Під час операції	Мікробіологічний аналіз	-
18	ДР 5.3	Концентрація	Під час операції	Ваговий	$\pm 0,0001$ г
	Кт 5.3.1 Кх 5.3.2	pH	Під час операції	Електрод	6,8-7,0
19	ДР 5.4	Температура	Під час операції	Термометр	121 °C
	Кт 5.4.1 Кмб 5.4.2	Вміст мікроорганізмів	Під час операції	Мікробіологічний аналіз	-
20	ТП 6.1	Час	Під час операції	Годинник	24 години
	Кт 6.1.1				
	Кт 6.1.2	Оберти	Під час операції	Обертовий вимірювач	190-200 об/хв
	Кт 6.1.3				
	Кмб 6.1.4	Температура	Під час операції	Термометр	29-30 °C
		Чистота культури	Під час операції	Мікробіологічний аналіз	Відсутні сторонні клітини

Продовження таблиці 3.2

21	ТП 6.2	Час	Під час операції	Годинник	48 години
	Кт 6.2.1				
	Кт 6.2.2	Оберти	Під час операції	Обертовий вимірювач	190-200 об/хв
	Кт 6.2.3				
	Кмб 6.2.4	Температура	Під час операції	Термометр	29-30 °С
		Чистота культури	Під час операції	Мікробіологічний аналіз	Відсутні сторонні клітини
22	ТП 6.3	Час	Під час операції	Годинник	24 години
	Кт 6.3.1				
	Кт 6.3.2	Оберти мішалки	Під час операції	Обертовий вимірювач	190-200 об/хв
	Кт 6.3.3				
	Кмб 6.3.4	Температура	Під час операції	Термометр	29-30 °С
	Кх 6.3.5				
		Чистота культури	Під час операції	Мікробіологічний аналіз	Відсутні сторонні клітини
		pH	Під час операції	Електрод	6,8-7,0
22	ТП 6.4	Час	Під час операції	Годинник	24 години
	Кт 6.4.1				
	Кт 6.4.2	Оберти мішалки	Під час операції	Обертовий вимірювач	190-200 об/хв
	Кт 6.4.3				
	Кмб 6.4.4				
	Кх 6.4.5				

Продовження таблиці 3.2

		Температура	Під час операції	Термометр	29-30 °С
		Чистота культури	Під час операції	Мікробіологічний аналіз	Відсутні сторонні клітини
		pH	Під час операції	Електрод	6,8-7,0
23	ТП 7	Час	Під час операції	Годинник	24 години
	Кт 7.1.1	Оберти мішалки	Під час операції	Обертовий вимірювач	190-200 об/хв
	Кт 7.1.2				
	Кт 7.1.3	Температура	Під час операції	Термометр	29-30 °С
	Кмб 7.1.4				
	Кх 7.1.5	Чистота культури	Під час операції	Мікробіологічний аналіз	Відсутні сторонні клітини
	Кмб 7.1.6				
24	ТП 8.1	Оберти	Під час операції	Обертовий вимірювач	6500 об/хв
	Кт 8.1.1	Час	Під час операції	Секундомір	5 с
	Кт 8.1.2				
25	ТП 8.3	Оберти	Під час операції	Обертовий вимірювач	6500 об/хв
	Кт 8.3.1				
	Кт 8.3.2				

Продовження таблиці 3.2

		Час	Під час операції	Секундомір	5 с
26	ТП 8.5	Оберти	Під час операції	Обертовий вимірювач	6500 об/хв
	КТ 8.5.1 КТ 8.5.2	Час	Під час операції	Секундомір	5 с
27	ТП 9 КТ 9.1.1	Тиск	Під час операції	Манометр	0,0012 МПа
28	ТП 10	Вологість	Під час операції	Гравіметрично	До 10 %
	КТ 10.1.1 КТ 10.1.2	Температура	Під час операції	Термометр	30-32 °С
29	ПМВ 11.1 КТ 11.1.1	Вага	Під час операції	Динамічні ваги	± 0,01 г
30	ЗВ 12.1 КТ 12.1.1	Чистота	Під час операції	Аналізатор повітря	60 %
31	ЗВ 12.2 КТ 12.2.1	рН	Під час операції	Електрод	6,8-7,0

3.3 Матеріальний баланс

Матеріальний баланс виробництва наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Матеріальний баланс виробництва

Використано					Отримано					
Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість			Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількість			
		кг	шт	дм ³			кг	шт	дм ³	
П 5.1	NaNO ₃	1,62			П 5.1	ПС для інокуляту			1250	
	NaCl	1,25				Втрати 5 %			62,5	
	Na ₂ HPO ₄	0,75				Проби 1 %			12,5	
	KH ₂ PO ₄	0,17								
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,12								
	рідкі парафіни			12,5						
	Вода очищена			1308,6						
	Всього	1325						1325		
ТП 5.2	NaNO ₃	156			ТП 5.2	ПС для культивування			12000	
	NaCl	120					Втрати 5 %			600
	Na ₂ HPO ₄	7,2					Проби 1 %			120
	KH ₂ PO ₄	1,68								
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	1,2								

Продовження таблиці 3.3

	рідкі парафіни			240					
	Вода очищен			11953, 9					
	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0,012							
	етанол			240					
	Всього	12720				Всього	12720		
ТП 6	ПС для інокуляту			1250	ТП 6	Інокулят			1118 8,06
	Культура			0,56		Втрати 5 %			62,5
	Всього	1250,56				Всього	1250,56		
ТП 7	ПС для культивуванн я			12000	ТП 7	Культураль на рідина з біомасою			1246 2,16
	Інокулят			1118,0 6		Втрати			655,9
	Всього	13118,06				Всього	13118,06		
ТП 8.1	Культуральна рідина з біомасою			12462, 16		Культураль на рідина з біомасою			1146 0,192
						Втрати			623,1 08
						Відділена культураль на рідина			378,8 6
	Всього	12462,16				Всього	12462,16		
ТП 8.3	Культуральна рідина з біомасою			11460, 192	ТП 8.3	Суспензія			1008 4,979

Продовження таблиці 3.3

						Втрати			573
						Відділена культуральна рідина			802,213
	Всього	11460,192				Всього	11460,192		
ТП 8.5	Суспензія			10084,979	ТП 8.5	Суспензія			8572,233
						Втрати			504,249
						Відділена культуральна рідина			1008,498
	Всього	10084,98				Всього	10084,98		
ТП 9	Суспензія			8572,233	ТП 9	Суспензія			5571,95
						Втрати			428,611
						Відділена культуральна рідина			2571,67
	Всього	8572,233				Всього	8572,233		
ТП 10	Суспензія			5571,95		Суха біомаса	69,24		
						Втрати			278,59

Продовження таблиці 3.3

						Волога			5224 ,12
	Всього	5571,95				Всього	5571,95		
ПМВ 11	Суха біомаса	69,24				Наповнені пакети		69	
	Пакети		69			Пакети з етикетками		69	
	Етикетки		69			Картонні коробки		12	
	Картонні коробки		12			Розфасовано біомаси	69		
	Всього	219				Всього	219		

3.4 Опис технології

ДР 1 Санітарна підготовка виробництва

ДР 1.1 Підготовка персоналу

На даній стадії проводяться інструктажі з техніки безпеки, навчання та підготовка до початку роботи на місцях.

Кожен працівник має періодично проходити медичний огляд, для підтримання санітарних умов [35].

ДР 1.2 Підготовка мийних розчинів

Зі складу приносять концентрати мийних розчинів («Неохлор», «Біомой»), які розводяться в ручну працівниками [34]. Розчинами обробляють зовнішні частини пристроїв, комунікацій, робочі поверхні, підлогу.

ДР 1.3 Санітарна підготовка приміщень

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Генеральне прибирання проводять перед початком виробничого процесу, а щоденне – перед кожною робочою зміною [34].

ДР 1.4 Підготовка обладнання

Перед початком роботи апарати стерилізуються паром $t = 121\text{ }^{\circ}\text{C}$, протягом 30 хв, $p = 0,02\text{ МПа}$. Стерилізація є необхідною дією задля уникнення контамінації [34, 35].

ДР 2 Підготовка повітря

ДР 2.1 Забір атмосферного повітря

Через повітрозабірник ПЗ-1 атмосферне повітря потрапляє в систему. Зазвичай встановлюється на висоті 10 м. Повітря яке входить в повітрозабірник проходить решітку, яка слугує для відділення великих забрудників, як от листя [35].

ДР 2.2 Попереднє очищення

Метою даної стадії є видалення механічних забрудників. Для таких цілей використовується Ф-2 – фільтр грубої очистки. Використовуються осередкові фільтри з гофрованих промаслених сіток конструкції Рекка. Ефективність дорівнює 85-90% [34].

ДР 2.3 Компресування повітря

Компресор К-3 використовується для стиснення повітря, яке під тиском подається на наступну стадію. Тиск $p = 0,2\text{ МПа}$, внаслідок дії високого тиску повітря сильно нагрівається [34].

ДР 2.4 Стабілізація термодинамічних показників

Рс-4 – використаний для охолодження повітря. На цій стадії температуру повітря доводять до цільової температури культивування.

ДР 2.5 Очистка на головному фільтрі

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Головний фільтр Ф-6 здатний вловлювати 95 % частинок. Тут вловлюється більшість мікроорганізмів.

ДР 2.6 Очистка на індивідуальному фільтрі

Індивідуальний фільтр Ф-7 встановлюється біля кожного прибору, який потребує подачі очищеного повітря. На даному етапі ефективність очищення становить 99,99999 %.

ДР 3 Підготовка води очищеної

ДР 3.1 Попереднє очистка

Вода, водопровідна поступає у фільтр Ф-9. Фільтр двошаровий, нижній шар щільніший за верхній. Фільтр слугує для затримання не розчинних решток та солей.

ДР 3.2 Очистка на установці подвійного зворотного осмосу

Дана установка Ф-10 – Ф-13, дозволяє отримувати воду очищену високої якості. Установка забезпечує потребу 2 м³ за годину. На даній стадії контролюються показники рН та електропровідності. рН регулюють шляхом додавання розчину NaOH.

ДР 3.3. Стерилізація ультрафіолетовою лампою.

Існує кілька способів стерилізації води. Одним з доволі ефективних є опромінення води ультрафіолетом. Оскільки витрата води не є дуже значною, то даний спосіб повністю задовольняє потребу [34].

ДР 3.4 Накопичення у збірнику

Очищена вода перед подачею на виробництво скидається у збірник 3-15.

ДР 4. Приготування робочих розчинів

ДР 4.1 Приготування 10 % розчину NaOH

Готують змішуючи кристалічний NaOH з водою. На виробництві NaOH застосовується для регулювання рН води та ПС. Приготування проводять в Р-19.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДР 4.2 Приготування 10 % розчину HCl

Готують розчиняючи 37 % HCl у воді. На виробництві застосовується для регулювання рН ПС. Приготування проводять в Р-22.

ДР 4.3 Приготування та стерилізація розчину піногасника

Готують змішуючи кристалічний піногасник з водою. На виробництві застосовується для попередження утворення піни під час культивування. Стерилізацію проводять у Р-25, парою $t = 121\text{ }^{\circ}\text{C}$, протягом 30 хв, $p = 0,02\text{ МПа}$. Приготування та стерилізацію проводять в Р-25.

ДР 5 Приготування поживних середовищ

ДР 5.1 Підготовка поживного середовища для інокуляту

ДР 5.1.1 Приготування поживного середовища для інокуляту

В реакторі Р-27 проводять змішування компонентів ПС. Для полегшення розчинення та розмішування, температуру реактора підіймають до $t = 80\text{-}90\text{ }^{\circ}\text{C}$, рН контролюють додаванням HCl та NaOH.

ДР 5.1.2 Стерилізація поживного середовища

Стерилізацію проводять у Р-27, парою $t = 121\text{ }^{\circ}\text{C}$, протягом 30 хв, $p = 0,02\text{ МПа}$.

ДР 5.2 Підготовка поживного середовища для інокуляту

ДР 5.2.1 Приготування поживного середовища для інокуляту

В реакторі Р-29 проводять змішування компонентів ПС. Для полегшення розчинення та розмішування, температуру реактора підіймають до $t = 80\text{-}90\text{ }^{\circ}\text{C}$, рН контролюють додаванням HCl та NaOH.

ДР 5.2.2 Стерилізація поживного середовища

Стерилізацію $t = 121\text{ }^{\circ}\text{C}$, протягом 30 хв проводять на установці безперервної стерилізації Н-30 – Т-33.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТП 6 Підготовка посівного матеріалу

ТП 6.1 Отримання накопичувальної культури

Розводять музейну культуру *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1. Переносять на стерильне ПС в колбі на 100 см³. Культивують протягом 24 годин. Колби встановлюють на ротатор $n = 200$ об/хв, $t = 30$ °С.

ТП 6.2 Нарощування біомаси продуцента

Культуру переносять з колби на 100 см³ в колбу на 1000 см³, додають ПС. Культивують протягом 48 годин, колби встановлюються на ротатор $n = 200$ об/хв, $t = 30$ °С.

ТП 6.3 Отримання посівного матеріалу в інокуляторі на 0,2 м³.

Біомасу переносять в Р-36, коефіцієнт заповнення 0,7, додають ПС. Культивують протягом 24 годин. Мішалкою забезпечують режим перемішування $n = 200$ об/хв, $t = 30$ °С. рН контролюють додаванням НСІ та NaOH. Подають чисте повітря.

ТП 6.4 Отримання посівного матеріалу в інокуляторі на 2 м³.

Біомасу перекачують в Р-37, коефіцієнт заповнення 0,7, додають Пс. Культивують протягом 24 годин. Мішалкою забезпечують режим перемішування $n = 200$ об/хв, $t = 30$ °С. рН контролюють додаванням НСІ та NaOH. Подають чисте повітря.

ТП 7. Культивування

Проводять у ферментері Р-38. Коефіцієнт заповнення 0,7. Ферментер оснащений турбінною мішалкою та барботером. Апарат виготовлено зі сталі марки 2Х18Н10Т. Додають ПС для виробничого культивування через штуцер Б. Інокулят подають через штуцер Д. Культуральну рідину випускають через штуцер Ї. Мішалкою забезпечують режим перемішування $n = 200$ об/хв, $t = 30$ °С. Ферментер також оснащено сорочкою для нагрівання та змійовиком для охолодження. Гарячий

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплоносії, в даному випадку пара, входить в сорочку через штуцер І, а відпрацьований виходить через штуцер ІІ. Конденсат виводять через штуцер Л. У випадку охолодження, холодний теплоносії, а саме холодна вода ($t = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$) подається в змієвик через штуцер Й, а виходить через штуцер К. рН контролюють додаванням НСІ та NaOH подаючи через штуцер Г. Для уникнення утворення піни, додають піногасник через штуцер Г. Подають чисте повітря (штуцер Е), витрата – $1\text{ м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{год}$, відпрацьоване повітря відводять через штуцер В. Час культивування 160 годин. Процес зупиняють коли концентрація біомаси становить $5\text{-}6\text{ г/дм}^3$.

ТП 8. Сепарування біомаси

ТП 8.1 Перша стадія сепарації

Культуральну рідину подають під тиском в сепаратор Ц-40, де під дією відцентрових сил тверда фаза відділяється від рідкої [4].. Кількість обертів – 6500 об/хв, $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, час операції – 5 с.

ТП 8.2 Промивання біомаси

Суспензію промивають водою очищеною у збірнику З-42, для видалення залишків ПС. Температура підтримується на рівні $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ТП 8.3 Друга стадія сепарації

Суспензія подається на сепаратор, де проходить аналогічний процес обробки, як у першій стадії.

ТП 8.4 Промивання біомаси

Повторюють промивання. Температура підтримується на рівні $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ТП 8.5 Третя стадія сепарації

Суспензія подається на сепаратор, де проходить аналогічний процес обробки, як у другій стадії.

ТП 8.6 Промивання біомаси

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повторюють промивання. Температура підтримується на рівні $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ТП 9 Фільтрування суспензії на барабанному вакуум-фільтрі

Суспензію подають насосом Н-42 в барабанний вакуум фільтр ВФ-43. $p = 0,012\text{ МПа}$.

ТП 10 Сушіння біомаси

Через повітрязабірник ПЗ-45 відбирають повітря, в калориметрі К-48 його підігрівають до $t = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$, оскільки матеріал термолабільний. Сушать до вмісту вологи менше 10 %.

ПМВ 11 Пакування продукції

ПМВ 11.1 Підготовка та наповнення упаковок

Упаковки беруться зі складу, дозатором Д-50 здійснюють наповнення упаковок $m = 1\text{ кг}$, чіпляють етикетку.

ПМВ 11.2 Вторинне пакування

Готову продукцію вручну вкладають в картонні коробки по 6 упаковок.

ПМВ 11.3 Зберігання готової продукції

Готову продукції зберігають на складі. Вологість до 70 %, температура – від $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ЗВ 12. Знешкодження відходів

ЗВ 12.1 Знешкодження відпрацьованих газів

Відпрацьовані гази пропускають через фільтр та випускають в атмосферу

ЗВ 12. 2 Знешкодження рідких відходів

Рідкі відходи зливають в каналізацію.

ЗВ 12.3 Знешкодження твердих відходів

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тверді відходи відвантажують та вивозять на полігон. Вторсировина відправляється на повторне застосування.

Висновок: Отже, було розглянуто основні та допоміжні матеріали при виробництві біопрепарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів. Описано точки та параметри виробництва. Розраховано матеріальний баланс виробництва. Описано технології виробництва препарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ПІДБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

4.1 Опис та підбір ферментаційного обладнання

Для виробництва цільового продукту необхідно проводити культивування БА в ферментері. Ферментер виконує дві функції – підтримує транспортні та масообмінні процеси, а ще виконує роль теплообмінник [35].

Кожний ферментер повинен бути укомплектований наступними системами:

- подачі рідинних потоків в апарат;
- уведення та виведення газових потоків;
- аерування;
- перемішування середовища;
- піногасіння;
- термостатування ферментаційного об'єму;
- стерилізації ферментера та середовища;
- виведення рідких потоків;
- контролю та регулювання параметрів процесу [34].

Існує велика кількість різних типових конструкцій ферментерів. Найпоширенішою класифікацією є класифікація за способом введення енергії в культуральну рідину, рисунок 4.1.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 4. Підбір та характеристика обладнання	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Ліщун Н.С.						
Перевірив		Гринюк І.І.					53	96
Т. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Н. Контр.								
Затверд.								



Рисунок 4.1 – Класифікація ферментерів за способом введення енергії [34].

В апаратах з підведенням енергії до газової фази, аерація та перемішування здійснюються стисненим повітрям, що яке подають під певним тиском. В апаратах з підведенням енергії до рідкої фази, перемішування відбувається за рахунок всмоктувальних турбін. У апаратах з комбінованим підведенням енергії, підведення енергії до газової фази через аерацію та до рідинної фази завдяки перемішування. Ферментер являє собою циліндричну посудину, укомплектовану механічною мішалкою та барботером [35,36].

Для культивування *R. erythropolis* *EK-1* обрано ферментер зі змішаним типом підведення енергії. Барботер присутній, оскільки штам є аеробом. Взято турбінну мішалку, оскільки вона найкраще підходить для культивування подібних організмів.

Потреба цільового продукту

Згідно з офіційним інформаційним ресурсом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, за останні 4 роки в Україні площа забруднених ґрунтів складає близько 118 га. Імовірно приблизно 20 % з них, забруднені

нафтопродуктами, тобто близько 23,5 га. При цьому – це лише наслідки бойових дій та задокументовані факти забруднень [46]. Забруднення нафтопродуктами є проблемою загальносвітового значення, тому виробництво препарату для очистки ґрунтів є перспективним.

Для зручності буде обрано ферментер об'ємом 16 м³, та коефіцієнтом заповнення 0,7.

Теплофізичні властивості середовища для культивування

Розрахуємо властивості середовища, як суму даних властивостей етанолу та води при заданій температурі 30 °С. Їх вміст врахуємо використавши коефіцієнти: для води – 0,98; для етанолу – 0,02.

Розрахуємо густину середовища для культивування:

$$\rho_c = 0,98 \cdot \rho_v + 0,02 \cdot \rho_e = 0,98 \cdot 996 + 0,02 \cdot 994 = 995,96 \text{ кг/м}^3 \quad (4.1.1)$$

Приймаємо коефіцієнт динамічної в'язкості як у води:

$$\mu_c = 0,804 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості становить:

$$\nu_c = \frac{\mu_c}{\rho_c} = \frac{0,804 \cdot 10^{-3}}{995,96} = 0,807 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с} \quad (4.1.2)$$

Знаходимо коефіцієнт теплоємності середовища для культивування:

$$\begin{aligned} c_c &= 0,98 \cdot C_v + 0,02 \cdot C_e = 0,98 \cdot 4180 + 0,02 \cdot 4110 \\ &= 4108,05 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \quad (4.1.3) \end{aligned}$$

Знаходимо коефіцієнт теплопровідності середовища для культивування:

$$\lambda_c = 0,98 \cdot \lambda_v + 0,02 \cdot \lambda_e = 0,98 \cdot 0,618 + 0,02 \cdot 0,608 = 0,6178 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (4.1.3)$$

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Знаходимо критерій Прандтля:

$$Pr_c = \frac{c_c \cdot \mu_c}{\lambda_c} = \frac{4108,05 \cdot 0,807 \cdot 10^{-3}}{0,6178} = 5,36 \quad (4.1.4)$$

4.2 Конструктивний розрахунок

Знаходимо робочий об'єм апарата:

$$V_{p.б.} = V \cdot \varphi = 16 \cdot 0,7 = 11,2 \text{ м}^3 \quad (4.2.1)$$

Згідно з ГОСТ 20680-75 визначаємо основні характеристики ферментеру об'ємом 16 м³:

- Діаметр апарату $D = 2,4 \text{ м}$;
- Висота апарату $H = 3,88 \text{ м}$;

Знаходимо розмірності днища апарату:

- Висота відбортюваної частини днища $h_1 = 0,04 \text{ м}$;
- Висота еліптичної частини днища $h_b = 0,6 \text{ м}$;
- Товщина стінки днища $s_{ст} = 0,01 \text{ м}$;
- Внутрішня поверхня днища $F = 6,54 \text{ м}^2$;
- Об'єм днища $V_{дн} = 1,98 \text{ м}^3$;

Проводимо розрахунок повної висоти днища:

$$h_d = h_1 + h_b = 0,6 + 0,04 = 0,64 \text{ м} \quad (4.2.2)$$

Об'єм циліндричної частини апарату:

$$V_{ц} = V - 2 \cdot V_{дн} = 16 - 2 \cdot 1,98 = 12,04 \text{ м}^3 \quad (4.2.3)$$

Площа основи циліндричної частини:

$$F_{ос.ц} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2,4^2}{4} = 4,52 \text{ м}^2 \quad (4.2.4)$$

Знаходимо висоту циліндричної частини:

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$h_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}}{F_{\text{ос.ц}}} = \frac{12,04}{4,52} = 2,66 \text{ м (4.2.5)}$$

Знаходимо висоту апарату:

$$h_{\text{ап.}} = h_{\text{ц}} + 2 \cdot h_{\text{д}} = 2,66 + 2 \cdot 0,64 = 3,94 \text{ м (4.2.6)}$$

Знаходимо висоту рівня рідини:

$$H_{\text{р}} = \frac{4(V_{\text{р.б.}} - V_{\text{дн}})}{\pi D^2} + h_{\text{д}} = \frac{4(11,2 - 1,98)}{\pi \cdot 2,4^2} + 0,64 = 2,67 \text{ м (4.2.7)}$$

Розрахунок перемішувача:

Знаходимо співвідношення діаметру мішалки до діаметру апарату:

$$\frac{D}{d_{\text{м}}} = \frac{3}{4} = \text{В межах від } 0,6 \text{ до } 0,8 \text{ м (4.2.8)}$$

Обраний діаметр:

$$d_{\text{м}} = 0,7 \text{ м (4.2.9)}$$

Знаходимо основні характеристики мішалки використовуючи розміри.

Висота мішалки становить:

$$h_{\text{м}} = 0,2 \cdot d_{\text{м}} = 0,2 \cdot 0,7 = 0,14 \text{ м (4.2.10)}$$

Розміщення мішалки на висоті від днища:

$$h = \left(\frac{0,4}{1}\right) \cdot d_{\text{м}} = \left(\frac{0,4}{1}\right) \cdot 0,7 = 0,28 \text{ м (4.2.11)}$$

Довжина лопаті становить:

$$l = 0,25 \cdot d_{\text{м}} = 0,25 \cdot 0,7 = 0,175 \text{ м (4.2.12)}$$

Товщина перегородки:

$$b = 0,1 \cdot d_{\text{м}} = 0,1 \cdot 0,7 = 0,07 \text{ м (4.2.13)}$$

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Кількість мішалок:

$$z_M = 1$$

Коефіцієнт гідравлічного опору мішалки становить:

$$\xi_M = 8,4$$

Для даного об'єму апарата стандартним діаметром валу мішалки є:

$$d_B = 0,11 \text{ м}$$

Розрахунок глибини воронки

Згідно з обраною технологією виробництва, частота обертання мішалки становить 200 об/хв або $n = 3,33 \text{ с}^{-1}$.

Визначаємо параметр висоти завантаження апарату:

$$\gamma = 8 \frac{H_p}{D} + 1 = 8 \frac{2,67}{2,4} + 1 = 9,9 \quad (4.2.14)$$

$$Re_B = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_M^2}{\mu_c} = \frac{995,96 \cdot 3,33 \cdot 0,7^2}{0,804 \cdot 10^{-3}} = 2021278 \quad (4.2.15)$$

Знаходимо параметр гідравлічного опору мішалки:

$$E = \frac{\gamma}{\xi_M \cdot z_M \cdot Re_B^{0,25}} = \frac{9,9}{8,4 \cdot 1 \cdot 2021278^{0,25}} = 0,03 \quad (4.2.16)$$

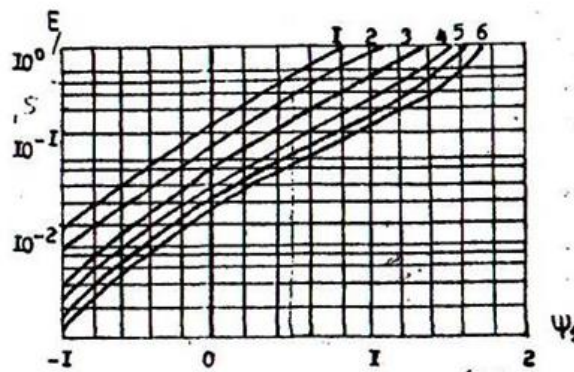


Рисунок 4.2 – Параметр розподілення швидкості [47].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Користуючись значенням E та рисунком, знаходимо параметр розподілу швидкості.

$$\psi_1 = -0,35$$

Користуючись даним параметром, знаходимо параметр глибини воронки B :

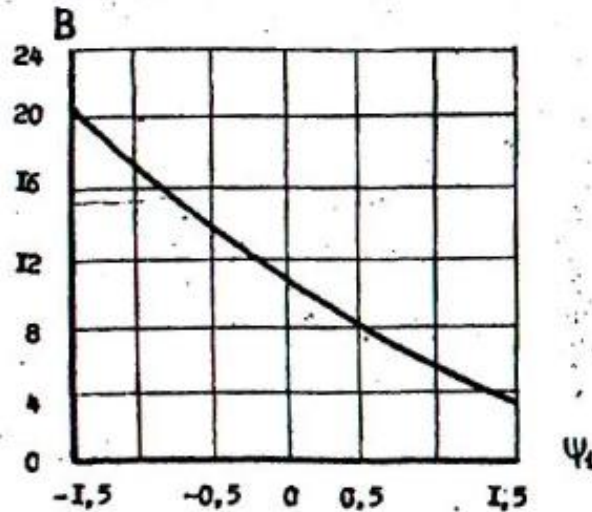


Рисунок 4.3 – Параметр глибини воронки [47].

$$B = 15$$

Знаходимо глибину воронки:

$$h_b = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_m^2}{2} = \frac{15 \cdot 3,33^2 \cdot 0,7^2}{2} = 40,75 \text{ м (4.2.17)}$$

Знаходимо гранично допустиму глибину воронки:

$$h_{гр} = H_p - h = 2,67 - 0,28 = 2,39 \text{ м (4.2.17)}$$

Оскільки $h_b > h_{гр}$, то потрібно встановлювати відбивні перегородки.

Розрахунок потужності, яка витрачається на перемішування

Знаходимо коефіцієнт потужності за графіком.

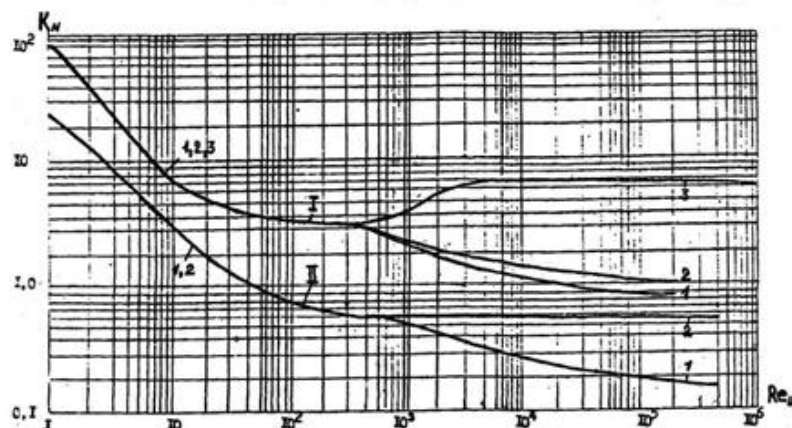


Рисунок 4.4 – Число $K_N = f(Re_{ц})$ [47]

$$K_N = 6$$

Знаходимо потужність, яка витрачається на перемішування:

$$N = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^3 = 6 \cdot 995,96 \cdot 3,33^3 \cdot 0,7^3 = 75686,77 \text{ Вт (4.2.18)}$$

Розрахунок потужності привода мішалки

Знайдемо потужність, яка витрачається на тертя в одинарному торцевому з'єднанні:

$$N_{уц} = 6020 \cdot d_B^{1,3} = 6020 \cdot 0,11^{1,3} = 341,51 \text{ Вт (4.2.19)}$$

Знайдемо коефіцієнт потужності, який враховує висоту рідини:

$$K_H = \sqrt{\frac{H_p}{D}} = \sqrt{\frac{2,67}{2,4}} = 1,05 \text{ (4.2.20)}$$

Знайдемо потужність привода мішалки:

$$N_{ел} = \frac{(K_n \cdot K_H \cdot \sum K_i \cdot N + N_{уц})}{\eta} = \frac{(1 \cdot 1,05 \cdot 1,8 \cdot 75686,77 + 341,51)}{0,9} = 159321,67 \text{ Вт} = 159,32 \text{ кВт (4.2.21)}$$

де $K_n = 1$ для апаратів з перегородками; $\sum K_i = 1,8$ для апарата з перегородками, трубою передавлювання та гільзою термометра;

$\eta = 0,85-0,9$ – коефіцієнт корисної дії привода [47].

Обираємо двигун потужністю 160 кВт.

Розрахунок барботера

Знайдемо висоту мішалки над барботером:

$$h_{\delta} = 0,25 \cdot d_m = 0,25 \cdot 0,7 = 0,175 \text{ м (4.2.22)}$$

Оскільки інтенсивність аерації становить $1 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{хв})$, тоді витрата повітря:

$$V_r = V_{p.б.} \cdot \frac{1}{60} = 11,2 \cdot \frac{1}{60} = 0,186 \text{ м}^3/\text{с (4.2.23)}$$

Швидкість повітря в трубі барботера приймаємо за $w_6 = 25 \text{ м/с}$. Знайдемо внутрішній діаметр труби барботера:

$$d_{6.в.} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_r}{\pi \cdot w_6}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,186}{\pi \cdot 25}} = 0,097 \text{ м (4.2.24)}$$

Приймаємо для барботера трубу стандартним діаметром $d_{6.н.} \times s_6 = 108 \times 5,5 \text{ мм}$

Знайдемо діаметр барботера користуючись співвідношенням:

$$D_6 = 6 \cdot d_{6.в.} = 6 \cdot 0,108 = 0,648 \text{ м (4.2.25)}$$

Швидкість повітря в отворах барботера приймаємо за $w_0 = 25 \text{ м/с}$, а діаметр отворів становить $d_0 = 0,007$.

Знайдемо потрібну кількість отворів в барботері:

$$z_o = \frac{4 \cdot V_r}{\pi \cdot d_o^2 \cdot w_o} = \frac{4 \cdot 0,186}{\pi \cdot 0,007^2 \cdot 25} = 193,32 = 194 \text{ шт. (4.2.26)}$$

Розрахуємо крок для розміщення даних отворів:

$$t_{отв.} = \frac{\pi \cdot D_6}{z_o} = \frac{\pi \cdot 0,648}{194} = 0,01 \text{ м (4.2.27)}$$

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

4.3 Тепловий розрахунок

Розраховуємо масу поживного середовища, інокуляту та культуральної рідини. Прийmemo, що їх тепло-фізичні властивості однакові. Об'єм інокуляту становить:

$$V_{\text{ін}} = 1,4 \text{ м}^3$$

Тоді об'єм поживного середовища та культуральної рідини становлять:

$$V_{\text{пс}} = 11,2 - 1,4 = 9,8 \text{ м}^3 \quad (4.3.1)$$

Знайдемо масу інокуляту, поживного середовища та культуральної рідини:

$$m_{\text{ін}} = V_{\text{ін}} \cdot \rho_{\text{ін}} = 1,4 \cdot 995,96 = 1394,34 \text{ кг} \quad (4.3.2)$$

$$m_{\text{пс}} = V_{\text{пс}} \cdot \rho_{\text{пс}} = 9,8 \cdot 995,96 = 9760,40 \text{ кг} \quad (4.3.3)$$

$$m_{\text{кр}} = V_{\text{кр}} \cdot \rho_{\text{кр}} = 11,2 \cdot 995,96 = 11154,74 \text{ кг} \quad (4.3.4)$$

Надходження енергії в ферментер:

1. Надходження разом із інокулятом:

$$\begin{aligned} E_{\text{ін}} &= m_{\text{ін}} \cdot c_{\text{с}} \cdot t_{\text{с}} = 1394,34 \cdot 4108,05 \cdot 30 = 171,84 \cdot 10^6 \text{ Дж} \\ &= 171,84 \text{ МДж} \quad (4.3.5) \end{aligned}$$

2. Надходження разом з поживним середовищем:

$$\begin{aligned} E_{\text{пс}} &= m_{\text{ін}} \cdot c_{\text{с}} \cdot t_{\text{с}} = 9760,40 \cdot 4108,05 \cdot 30 = 1202,88 \cdot 10^6 \text{ Дж} \\ &= 1202,88 \text{ МДж} \quad (4.3.6) \end{aligned}$$

3. Надходження разом з повітрям:

$$\begin{aligned} E_{\text{пов.}} &= \rho_{\text{пов.}} \cdot V_{\text{Г}} \cdot c_{\text{пов.}} \cdot t_{\text{пов.}} \cdot \tau = 1,164 \cdot 0,186 \cdot 1005 \cdot 30 \cdot 576000 \\ &= 3759,89 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3759,89 \text{ МДж} \quad (4.3.7) \end{aligned}$$

де $\rho_{\text{пов.}}$ – густина повітря при температурі 30 °С, 1,164 кг/м³; $c_{\text{пов.}}$ – питома теплоємність повітря, 1005 Дж/(кг·К), τ – час культивування, 576000 с.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

4. Теплова енергія, яка виділяється в наслідок дисипації перемішуючих пристроїв:

$$E_{\text{дис.}} = N \cdot \tau = 75686,77 \cdot 576000 = 43595,57 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 43595,57 \text{ МДж (4.3.8)}$$

Знаходимо сумарне надходження енергії:

$$\begin{aligned} \sum E_{\text{над.}} &= E_{\text{ін}} + E_{\text{пс}} + E_{\text{пов.}} + E_{\text{дис.}} = 171,84 + 1202,88 + 3759,89 + 43595,57 \\ &= 48730,18 \text{ МДж (4.3.9)} \end{aligned}$$

Витрати енергії в ферментері:

1. Витрати з культуральною рідиною:

$$\begin{aligned} E_{\text{кр}} &= m_{\text{кр}} \cdot c_{\text{с}} \cdot t_{\text{с}} = 11154,74 \cdot 4108,05 \cdot 30 = 1374,72 \cdot 10^6 \text{ Дж} \\ &= 1374,72 \text{ МДж (4.3.10)} \end{aligned}$$

2. Надходження разом з повітрям:

$$\begin{aligned} E_{\text{пов.вт}} &= \rho_{\text{пов.}} \cdot V_{\text{г}} \cdot c_{\text{пов.}} \cdot t_{\text{пов.}} \cdot \tau = 1,164 \cdot 0,186 \cdot 1005 \cdot 30 \cdot 576000 \\ &= 3759,89 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3759,89 \text{ МДж (4.3.11)} \end{aligned}$$

3. Втрату теплоти, приймається як 2 % усіх витрат:

$$E_{\text{вт}} = 0,02 \cdot (E_{\text{кр}} + E_{\text{пов.вт}}) = 0,02 \cdot (1374,72 + 3759,89) = 102,69 \text{ МДж (4.3.12)}$$

Знаходимо сумарні втрати теплоти:

$$\begin{aligned} \sum E_{\text{вт}} &= E_{\text{кр}} + E_{\text{пов.вт}} + E_{\text{вт}} = 1374,72 + 3759,89 + 102,69 \\ &= 5237,3 \text{ МДж (4.3.13)} \end{aligned}$$

Знаходимо теплове навантаження:

$$E_{\text{н}} = \sum E_{\text{над.}} - \sum E_{\text{вт}} = 48730,18 - 5237,3 = 43492,88 \text{ МДж (4.3.14)}$$

Щоб підтримувати задану температуру $t_{\text{к}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, слід проводити охолодження.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Холодним теплоносієм виступає вода.

Початкова температура води – $t_1 = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Початкова температура води – $t_2 = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Різниця температур становить - $\Delta t = 22 - 12 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Знайдемо середню температуру води:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{12 + 22}{2} = 17\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.3.15)$$

Теплофізичні параметри води при $t_{\text{ср}}$:

Густина води – $\rho_{\text{в}} = 999\text{ кг/м}^3$;

Теплопровідність води – $\lambda_{\text{в}} = 0,592\text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$;

Коефіцієнт динамічної в'язкості – $\mu_{\text{в}} = 1,41 \cdot 10^{-3}\text{ Па} \cdot \text{с}$;

Коефіцієнт кінематичної в'язкості – $\nu_{\text{в}} = 1,1 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$;

Теплоємність води – $c_{\text{в}} = 4190\text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$;

Критерій Прандтля - $Pr_{\text{в}} = 7,77$.

Знайдемо тепловий потік:

$$Q = \frac{E_{\text{н}}}{\tau} = \frac{43492,88 \cdot 10^6}{576000} = 75508,47\text{ Вт} \quad (4.3.16)$$

Знайдемо витрату води:

$$G_{\text{в}} = \frac{Q}{c_{\text{в}} \cdot \Delta t} = \frac{75508,47}{4190 \cdot 10} = 1,8\text{ кг/с} \quad (4.3.17)$$

Знаходимо різниці температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = |t_{\text{к}} - t_1| = |30 - 22| = 8\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.3.18)$$

$$\Delta t_{\text{г}} = |t_{\text{к}} - t_2| = |30 - 12| = 18\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.3.19)$$

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{18}{8} = 2,25 > 2 \quad (4.3.20)$$

Зі співвідношення слідує, що середня різниця температур теплоносія знаходиться за формулою:

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = 12,33 \quad (4.3.21)$$

Розрахуємо критерій Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_m^2}{\mu_c} = \frac{995,96 \cdot 3,33 \cdot 0,7^2}{0,804 \cdot 10^{-3}} = 2,02 \cdot 10^6 \quad (4.3.22)$$

Розраховуємо критерій Нуссельта:

$$Nu_1 = C \cdot Re_c^\alpha \cdot Pr_c^{0,33} = 0,76 \cdot (2,02 \cdot 10^6)^{0,67} \cdot 5,36^{0,33} = 22183,16 \quad (4.3.23)$$

Знайдемо коефіцієнт тепловіддачі від культуральної рідини:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_c}{D} = \frac{22183,16 \cdot 0,6178}{2,4} = 5710,31 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (4.3.24)$$

Знайдемо коефіцієнт тепловіддачі від стінки до теплоносія.

Розрахуємо швидкість теплоносія в сорочці ферментера:

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot f} = \frac{1,80}{999 \cdot 0,709} = 0,0025 \text{ м/с} \quad (4.3.25)$$

$$f = 0,785 \cdot (D_1^2 - (D + 2 \cdot s)^2), \quad (4.3.26)$$

$$f = 0,785 \cdot (2,6^2 - (2,4 + 2 \cdot 0,01)^2) = 0,709 \quad (4.3.27)$$

Де D_1 – внутрішній діаметр сорочки ферментера, 2,6 м.

Розрахуємо критерій Рейнольдса:

$$Re_2 = \frac{w_B \cdot (D_1 - (D + 2 \cdot s))}{\nu_B} = \frac{0,0025 \cdot (2,6 - (2,4 + 2 \cdot 0,01))}{1,1 \cdot 10^{-6}} = 409,1 \quad (4.3.28)$$

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$Re_2 < 2300$, це свідчить, що режим руху є ламінарним.

Знайдемо температуру стінки ферментера:

$$t_{ст} = \frac{t_c + t_{сер}}{2} = \frac{30 + 17}{2} = 18,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.3.29)$$

Розраховуємо критерій Нуссельта:

$$Nu_2 = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad (4.3.30)$$

Коефіцієнти C і n знаходять в залежності від величини добутку Gr і Pr :

$$10^3 < Gr, Pr < 10^9; \quad C = 0,76; \quad n = 0,25;$$

$$Gr, Pr < 10^9; \quad C = 0,15; \quad n = 0,33.$$

Добуток критеріїв Gr і Pr становить:

$$\begin{aligned} Gr \cdot Pr &= H_c^3 \cdot (t_{ст} - t_{сер}) \cdot B = 2,67^3 \cdot (18,5 - 17) \cdot 14,4 \cdot 10^9 \\ &= 411,13 \cdot 10^9 \quad (4.3.31) \end{aligned}$$

Де B – коефіцієнт, для даної температури – $14,4 \cdot 10^9$, H_c – дорівнює H_p , 2,67 м.

Коефіцієнти – $C = 0,15$; $n = 0,33$.

$$Nu_2 = 0,15 \cdot (411,13 \cdot 10^9)^{0,33} = 1020,45 \quad (4.3.32)$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_B}{H_c} = \frac{1020,45 \cdot 0,592}{2,67} = 226,25 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (4.3.33)$$

Розраховуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.3.34)$$

Приймаємо $\lambda_{ст} = 17,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$K_{\text{ст}} = \frac{1}{\frac{1}{5710,31} + \frac{0,01}{17,5} + \frac{1}{226,25}} = 193,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (4.3.35)$$

$$K = 0,95 \cdot K_{\text{ст}} = 0,95 \cdot 193,55 = 183,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (4.3.36)$$

Знаходимо необхідну площу теплообміну:

$$F_{\text{н}} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = \frac{75508,47}{183,87 \cdot 12,33} = 33,3 \text{ м}^2 \quad (4.3.37)$$

Знаходимо дійсну поверхню теплообміну:

$$F_{\text{д}} = \pi \cdot D \cdot H_{\text{р.с.}} = \pi \cdot 2,4 \cdot 2,03 = 15,3 \text{ м}^2 \quad (4.3.38)$$

$$\text{Де висота робочої частини сорочки} - H_{\text{р.с.}} = 2,67 - 0,64 = 2,03 \text{ м.} \quad (4.3.39)$$

$$F_{\text{н}} > F_{\text{д}}$$

Отже, площі теплообміну сорочки не достатньо для охолодження. Необхідно додатково встановлювати змієвик.

Розраховуємо частину теплового потоку яка припадає на сорочку ферментера:

$$Q_{\text{сорочки}} = F_{\text{д}} \cdot K \cdot \Delta t_{\text{сер}} = 15,3 \cdot 183,87 \cdot 12,33 = 34686,89 \text{ Вт} \quad (4.3.40)$$

Розраховуємо частину теплового потоку яка припадає на змієвик:

$$Q_{\text{змієвика}} = Q - Q_{\text{сорочки}} = 75508,47 - 34686,89 = 40821,58 \text{ Вт} \quad (4.3.41)$$

Для охолодження обираємо внутрішні змієвики, що мають діаметр $D_{\text{зм}} = 0,6 \text{ м}$, внутрішній діаметр труби $d_{\text{вз}} = 0,05 \text{ м}$, зовнішній діаметр труби $d_{\text{зз}} = 0,054 \text{ м}$ та товщину стінки $\delta_{\text{ст}} = 0,002 \text{ м}$.

Знайдемо площу перетину каналу:

$$S_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вз}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ м}^2 \quad (4.3.42)$$

Температура теплоносія на вході та виході відповідає таким у сорочці.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Знаходимо витрату води:

$$G_{зм} = \frac{Q_{змівика}}{c_B \cdot \Delta t} = \frac{40821,58}{4190 \cdot 10} = 0,97 \text{ кг/с (4.3.43)}$$

Знаходимо швидкість течії в каналі:

$$w_{зм} = \frac{G_{зм}}{\rho_B \cdot S_K} = \frac{0,97}{999 \cdot 0,00196} = 0,495 \text{ м/с (4.3.44)}$$

Для обраного апарату симплекси подібності становлять $\Gamma_{D0} = \Gamma_{H0} = 3$.
Знайдемо розрахункові значення:

$$\Gamma_D = \frac{D}{d_m} = \frac{2,4}{0,7} = 3,4 \text{ (4.3.45)}$$

$$\Gamma_H = \frac{H_p}{d_m} = \frac{2,67}{0,7} = 3,8 \text{ (4.3.46)}$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості середовища при температурі стінки становить – $\mu_{BT} = 1,047 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$

Розрахуємо коефіцієнт Нуссельта:

$$\begin{aligned} Nu_{зм1} &= 0,76 \cdot \left(\frac{n \cdot d_m^2 \cdot \rho_c}{\mu_c} \right)^{0,67} \cdot Pr_c^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu_c}{\mu_{BT}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{\Gamma_D}{\Gamma_{D0}} \right)^{-0,13} \cdot \left(\frac{\Gamma_H}{\Gamma_{H0}} \right)^{-0,56} = \\ &= 0,76 \cdot \left(\frac{3,33 \cdot 0,7^2 \cdot 995,96}{0,804 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,67} \cdot 5,36^{0,33} \cdot \left(\frac{0,804 \cdot 10^{-3}}{1,047 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} \cdot \left(\frac{3,4}{3} \right)^{-0,13} \\ &\quad \cdot \left(\frac{3,8}{3} \right)^{-0,56} = 18432,83 \text{ (4.3.47)} \end{aligned}$$

Розраховуємо коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{зм1} = \frac{Nu_{зм1} \cdot \lambda_c}{D_{зм}} = \frac{18432,83 \cdot 0,6178}{0,6} = 18979,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \text{ (4.3.48)}$$

Знаходимо коефіцієнт, що врахує кривизну спіралі:

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$X = 1 + 3,54 \cdot \frac{d_{\text{вз}}}{D_{\text{зм}}} = 1 + 3,54 \cdot \frac{0,05}{0,6} = 1,295 \quad (4.3.49)$$

Критерій Прандтля при температурі стінки становить:

$$Pr_{\text{вт}} = 7,4$$

Знаходимо критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{зм2}} = \frac{w_{\text{зм}} \cdot d_{\text{вз}}}{\nu_{\text{в}}} = \frac{0,495 \cdot 0,05}{1,1 \cdot 10^{-6}} = 22500 \quad (4.3.50)$$

Дане значення $Re_{\text{зм2}} > 10^4$, то потік є турбулентним. Знайдемо значення критерію Нуссельта:

$$\begin{aligned} Nu_{\text{зм2}} &= 0,021 \cdot Re_{\text{зм2}}^{0,8} \cdot Pr_{\text{в}}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{в}}}{Pr_{\text{вт}}} \right)^{0,25} \cdot X = \\ &= 0,021 \cdot 22500^{0,8} \cdot 7,77^{0,43} \cdot \left(\frac{7,77}{7,4} \right)^{0,25} \cdot 1,295 = 201,44 \quad (4.3.51) \end{aligned}$$

Знайдемо коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{зм2}} = \frac{Nu_{\text{зм2}} \cdot \lambda_{\text{в}}}{d_{\text{вз}}} = \frac{201,44 \cdot 0,592}{0,05} = 2385,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (4.3.52)$$

Знаходимо коефіцієнт теплопередачі для змійовика:

$$\begin{aligned} K_{\text{зм.в}} &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{18979,67} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{2385,05}} \\ &= 1705,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (4.3.53) \end{aligned}$$

$$K_{\text{зм}} = 0,95 \cdot K_{\text{зм.в}} = 0,95 \cdot 1705,75 = 1620,46 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (4.3.54)$$

Площа поверхні охолодження становить:

$$F_{\text{зм}} = \frac{Q_{\text{змівика}}}{K_{\text{зм}} \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = \frac{40821,58}{1620,46 \cdot 12,33} = 2,04 \text{ м}^2 \quad (4.3.55)$$

Знайдемо довжину труби змійовика:

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$L = \frac{F_{зм}}{\pi \cdot d_{зз}} = \frac{2,04}{\pi \cdot 0,054} = 12,02 \text{ м (4.3.56)}$$

Довжина витка становить $l = 1,885 \text{ м}$

Кількість витків у спіралі змійовика:

$$N = \frac{L}{l} = \frac{12,02}{1,885} = 6,37 = 7 \text{ витків (4.3.57)}$$

Знайдемо висоту змійовика, прийнявши, що відстань між витками рівна внутрішньому діаметру:

$$H_{зм} = N \cdot d_{зз} + (N - 1) \cdot d_{вз} = 7 \cdot 0,054 + (7 - 1) \cdot 0,05 = 0,678 \text{ м (4.3.58)}$$

4.4 Вибір загальнозаводського обладнання

Для ефективної роботи обладнання, важливо передбачити наявність насосів для перекачування рідини. Розрахуємо насос для перекачування води для охолодження.

Потужність, яку потрібно витратити на перекачування води:

$H = 10 \text{ м}$ – напір насоса.

$$N_{пер} = G_{зм} \cdot H \cdot g = 0,97 \cdot 10 \cdot 9,8 = 95,1 \text{ кВт (4.4.1)}$$

Знайдемо потужність електродвигуна:

$$N_d = \frac{N_{пер}}{\eta \cdot \eta_{пер}} = \frac{95,1}{0,88 \cdot 0,96} = 112,6 \text{ кВт (4.4.2)}$$

$\eta = 0,88$ – коефіцієнт корисної дії насоса;

$\eta_{пер} = 0,96$ – коефіцієнт передачі енергії від двигуна до насоса.

Для забезпечення умов теплообміну потрібно встановити насос, здатний забезпечити витрату рідини $G_{зм} = 0,97 \text{ кг/с}$ та мінімальною потужністю електродвигуна - $N_d = 112,6 \text{ кВт}$.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок: Було розглянуто типові конструкції ферментерів, на основі особливостей біологічного агента та поживного середовища обрано ферментер, об'ємом 16 м³, з турбінною мішалкою, барботером, сорочкою та змішувиком. Даний ферментер здатний забезпечити умови культивування, згідно з виконаними розрахунками. Підібрано додаткове обладнання для забезпечення високої ефективності процесу культивування.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

5.1 Охорона праці

Процес праці здійснюється у спеціально організованому виробничому середовищі, яке є складовою частиною ширшого штучного середовища проживання людини. Це середовище створюється для реалізації професійної діяльності та забезпечення виробництва матеріальних благ або послуг. У такому контексті особливої актуальності набуває питання збереження життя та здоров'я працівника під час виконання трудових обов'язків. Організація безпечних умов праці, профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань є основною метою охорони праці — галузі, що регулюється трудовим законодавством [48].

Варто усвідомлювати, що повністю усунути всі ризики у виробничому процесі неможливо, адже абсолютна безпека в умовах реального виробництва — це недосяжний ідеал. Проте завданням охорони праці є мінімізація впливу існуючих небезпек та зниження ймовірності виникнення шкідливих або небезпечних виробничих факторів до прийняттого рівня. Це дозволяє не тільки запобігати нещасним випадкам і захворюванням, а й підтримувати загальний добробут і працездатність працівників [48,49].

Охорона праці є комплексною системою, що охоплює правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні заходи та засоби. Усі ці елементи спрямовані на забезпечення безпеки, гігієни та комфорту в процесі трудової діяльності. Такий підхід дозволяє створювати умови, за яких ризик для життя та здоров'я працівників зводиться до мінімуму, а також підвищується ефективність виробництва завдяки зниженню кількості захворювань і випадків втрати працездатності [49].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 5. Охорона праці та охорона довкілля		
Розробив	Ліщун Н.С.						
Перевірив	Гринюк І.І.						
Т. Контр.							
Н. Контр.							
Затверд.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						72	96

Закон України «Про охорону праці» закріплює це поняття як систему, яка поєднує в собі нормативно-правову базу (закони, нормативи, стандарти, правила) та практичні заходи, спрямовані на створення безпечного виробничого середовища. Це свідчить, з одного боку, про необхідність дотримання законодавчих вимог у сфері охорони праці, а з іншого — про соціальну відповідальність держави щодо збереження здоров'я працюючого населення. Таким чином, турбота про умови праці є не лише обов'язком роботодавця, а й одним із пріоритетних напрямів державної політики у сфері захисту прав людини [48,50].

Перед початком роботи важливо проводити інструктажі та навчання персоналу. Це як інструктажі щодо роботи з обладнанням, інструктажі щодо поведінки у випадку надзвичайних ситуацій, так і навчання домедичної та медичної допомоги. Важливо для забезпечення безпеки, допускати до роботи персонал який пройшов ці процедури та підтвердив свій рівень знань теоретично та практично [49].

Основні ризики при виробництві препарату на основі *R. erythropolis*:

Робота з хімічними речовинами:

Луги та кислоти – їдкі хімічні речовини, що можуть викликати подразнення дихальних шляхів та опіки шкіри. Для запобігання нещасних випадків важливо проводити інструктаж по роботі з хімічними речовинами. Працівники повинні працювати в засобах індивідуального захисту, як от респіратори, окуляри та гумові рукавички [48,50].

Горючі речовини – такі як етанол, який є легкозаймистою речовиною. Усі працівники повинні проходити інструктаж з пожежної безпеки. Також подібні речовини повинні зберігатися за спеціальних умов, тара що вміщує такі речовини має бути спеціально промаркована. На місцях роботи мають бути засоби для гасіння пожежі [48].

Робота з електричними приладами та приладами, що працюють під тиском:

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Ураження електричним струмом є одним із найнебезпечніших факторів на виробництві. Для забезпечення безпечної роботи персоналу необхідно проводити інструктажі по роботі обладнання, курси по медичній допомозі (в тому числі допомозі при ураженні струмом). Важливим методом попередження ураження струмом є використання засобами захисту, як от діелектричними рукавичками та спеціальним взуттям. Важливо проводити технічний огляд обладнання, перевіряти наявність засобів електробезпеки – ізоляція кабелів та проводів, наявності заземлення, роботоздатність безперебійників [48,49].

Обладнання, що працює під тиском (стерилізатори, трубопроводи), становить значну небезпеку через можливий вибух. Важливо регулярно проводити технічний огляд. Перед використанням проводити перевірку роботи, герметичність. Важливою є наявність реєструючих приладів, що відслідковують тиск у системі, а також резервних клапанів для регулювання тиску [48].

Робота в середовищі з підвищеним шумом:

Шум є поширеним та небезпечним виробничим фактором, що може призводити до професійних захворювань та підвищувати ризик травматизму через погіршення уваги та сприйняття інформації. Шум виникає внаслідок роботи обладнання, як от насосів, вентиляторів, центрифуг [48,52]. Основними способами захисту від дії шуму є використання мал шумного устаткування, ізоляції устаткування, яке створює шум в окремих виробничих приміщеннях, звукоізоляція. Працівники повинні користуватися засобами для захисту від шуму – навушниками [49,52].

Безпека праці на робочих місцях:

Належні умови праці є фундаментальною складовою охорони праці, що безпосередньо впливає на здоров'я, продуктивність та безпеку працівників. Задля забезпечення належних умов важливо забезпечувати комфортні умови мікроклімату: Забезпечення вентиляції, комфортної температури та вологості повітря, регулювання подачі повітря. Ще одним важливим фактором є

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

ергономічність робочого місця: забезпечення комфортного освітлення, грамотне планування, розміщення контролюючих приладів та засобів візуалізації в зручних місцях [48,49].

5.2 Охорона довкілля

Збереження навколишнього природного середовища, ефективне та раціональне використання природних ресурсів, а також гарантування екологічної безпеки людської життєдіяльності є ключовими чинниками сталого соціально-економічного розвитку України. З метою досягнення цих цілей держава реалізує національну екологічну політику, яка спрямована на збереження природного середовища в стані, безпечному для всіх форм життя. Ця політика передбачає захист здоров'я та життя громадян від шкідливого впливу, пов'язаного із забрудненням довкілля. Підприємства повинні забезпечувати екологічну безпеку довкілля, мінімізуючи власний вплив на нього [53].

Основними джерелами забруднення довкілля при виробництві препарату на основі *R. erythropolis* є рідкі відходи, відпрацьоване повітря та тверді відходи.

Для очистки повітря найпоширенішими методами є:

Механічні прилади для видалення забрудників, як от циклони. У таких установках частинки пилу осаджуються під дією відцентрової сили або внаслідок зміни напрямку руху повітряного потоку;

Рідинні методи, в яких повітря зволожується або пропускається крізь шар рідини, що сприяє осадженню шкідливих домішок. Для цього часто використовують розпилювальні установки, а для методів абсорбції – рідинні абсорбери;

Ще одним ефективним методом є фільтрація повітря через пористі матеріали, які утримують забруднювальні частинки. Часто застосовують НЕРА фільтри [36].

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Забезпечення очистки стічних вод підприємств можливе з використанням механічних, біологічних, фізико-хімічних методів [54].

З використанням механічних методів проводять очистку стічних вод від великих частинок, як от пісок, залишки нерозчинної сировини, тощо. Передбачає проціджування стічних вод через решітки. З використанням фізико-хімічних методів здійснюють видалення завислих сполук. Для цього використовують методи сорбції, коагуляції, флотації та хімічного осадження [54,55].

Для очищення стічних вод від органічних речовин застосовують біологічні методи очистки. для виробничих стічних вод можуть використовуватись як аеробні, так і анаеробні методи в залежності від концентрацій органічних речовин за показниками БСК і ХСК [55].

Тверді відходи в залежності від їх типу можна утилізувати кількома способами. Пакувальні матеріали з паперу можна здавати на переробку. Зіпсовані реагенти потрібно здавати в спеціальні місця переробки хімічних речовин. Залишки не придатної для виробництва препарату біомаси можна використовувати для компостування або використовуючи спеціальні методи, утилізувати [56].

Висновок: Було розглянуто основні ризики для персоналу при виробництві препарату для очистки ґрунтів від нафтопродуктів, надано рекомендації щодо охорони праці. Також розглянуто основні джерела забруднення довкілля на виробництві: відпрацьоване повітря, рідкі та тверді відходи, описано найпоширеніші методи очистки та знешкодження відходів.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано вибір біологічного агенту *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1, оскільки він мав ряд переваг: можливість росту як на гідрофобних, так і гідрофільних субстратах, здатність до синтезу асоційованих з клітинами та вільних поверхнево-активних речовин, високу стійкість до стресових факторів, низьку патогенність для рослин та людей.

2. Було обрано та обґрунтовано технологію виробництва препарату на основі *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1. Технологія включає в себе підготовку інокуляту для виробничого культивування, виробниче культивування, відділення біомаси від культуральної рідини за допомогою сепарації, фільтрування суспензії на вакуум-фільтрі та подальше висушування в сушарці киплячого шару. Дана технологія дозволяє забезпечити ефективне виділення та зневоднення продукту, зберігаючи при цьому активність клітин бактерій.

3. Наведено характеристику кінцевого продукту – препарату на основі *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1, до складу якого входить біомаса біологічного агенту з титром життєздатних клітин – $1,5 \cdot 10^9$ КУО/г та синтезовані поверхнево-активні речовини, визначено вимоги до сировини, що використовується при виробництві.

4. Розроблено апаратурну та технологічну схему виробництва біопрепарату на основі *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1 для очистки ґрунтів від нафтопродуктів.

5. Виконано розрахунки та креслення ферментера для культивування біологічного агента. Обрано ферментер об'ємом 16 м³, з механічним перемішуючим пристроєм – турбінною мішалкою, барботером та зміювиком. Даний ферментер здатний підтримувати умови культивування *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1, що було підтверджено розрахунками.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Висновки	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Ліщун Н.С.						77	96
Перевірив	Гринюк І.І.							
Т. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Н. Контр.								
Затверд.								

6. Розглянуто основні ризики, що виникають при виробництві препарату на основі *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1, надано рекомендації щодо охорони праці, розглянуто методи очистки та знешкодження відходів.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Radomska M. M., Nazarkov T. I., Ponomarenko M. O. THE ANALYSIS OF SOILS POLLUTION WITH PETROCHEMICALS BY THE MEANS OF ELECTROMETRIC METHOD. *Science-based technologies*. 2019. Vol. 44, no. 4. URL: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.44.14319> (date of access: 06.06.2025).
2. Державна екологічна інспекція Південно-Західного округу. *Державна екологічна інспекція Південно-Західного округу*. URL: <https://sw.dei.gov.ua/post/3415> (дата звернення: 06.06.2025).
3. Mandryk O. M., Lukynchuk O. I. Improving method of cleaning soil contaminated by petroleum products. *Collected Works of Uman National University of Horticulture*. 2023. Vol. 1, no. 103. P. 273–281. URL: <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-103-1-273-281> (date of access: 06.06.2025).
4. Yuniati M. D. Bioremediation of petroleum-contaminated soil: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 118. P. 012063. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012063> (date of access: 06.06.2025).
5. Іутинська Г. О. Ґрунтова мікробіологія. Київ : Видавництво "Арістей", 2006. 283 с.
6. Qattan S. Y. A. Harnessing bacterial consortia for effective bioremediation: targeted removal of heavy metals, hydrocarbons, and persistent pollutants. *Environmental Sciences Europe*. 2025. Vol. 37, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01103-y> (date of access: 07.06.2025).
7. Brooijmans R. J. W., Pastink M. I., Siezen R. J. Hydrocarbon-degrading bacteria: the oil-spill clean-up crew. *Microbial Biotechnology*. 2009. Vol. 2, no. 6. P. 587–594. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2009.00151.x> (date of access: 07.06.2025).

					ДП ББ11.16.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Лісун Н.С.			Перелік використаних джерел	Літ.	Арк.
Перевірив		Гриняк І.І.					Аркушів
Т. Контр.							79
Н. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Затверд.							
							96

8. Гладченко Л. М., Матвеева О. Л., Омельчук С. О. The chemical composition influence of oil products on the efficiency of carbon-oxidizing microorganisms cultivation. *Problems of Environmental Biotechnology*. 2017. No. 1. URL: <https://doi.org/10.18372/2306-6407.1.11646> (date of access: 07.06.2025).

9. Думанська, Т., Т. Ногіна, and В. Підгорський. "Препарат для очищення довкілля від нафтових забруднень на основі *Rhodococcus erythropolis*, *Gordonia rubropertinctus* та *Acinetobacter calcoaceticus*." (2004).

10. Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future / ed. by R. L. Singh. Singapore : Springer Singapore, 2017. URL: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1866-4> (date of access: 08.06.2025).

11. A Bioremediation Study of Raw and Treated Crude Petroleum Oil Polluted Soil with *Aspergillus niger* and *Pseudomonas aeruginosa* / M. Ojewumi et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19, no. 2. P. 226–235. URL: <https://doi.org/10.12911/22998993/83564> (date of access: 08.06.2025).

12. Bioremediation: Data on *Pseudomonas aeruginosa* effects on the bioremediation of crude oil polluted soil / M. E. Ojewumi et al. *Data in Brief*. 2018. Vol. 19. P. 101–113. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.04.102> (date of access: 08.06.2025).

13. Laboratory scale bioremediation of petroleum-contaminated soil by indigenous microorganisms and added *Pseudomonas aeruginosa* strain Spet / A. K. Karamalidis et al. *Bioresource Technology*. 2010. Vol. 101, no. 16. P. 6545–6552. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.055> (date of access: 08.06.2025).

14. Cheung P.-Y., Kinkle B. K. Mycobacterium Diversity and Pyrene Mineralization in Petroleum-Contaminated Soils. *Applied and Environmental Microbiology*. 2001. Vol. 67, no. 5. P. 2222–2229. URL: <https://doi.org/10.1128/aem.67.5.2222-2229.2001> (date of access: 08.06.2025).

15. Characterization of three rapidly growing novel Mycobacterium species with significant polycyclic aromatic hydrocarbon bioremediation potential / Y. Deng et al. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Hosseini S., Azadi D., Absalan A. First isolation of biodegradable polycyclic aromatic hydrocarbons *Mycobacterium porcinum* and *Mycobacterium celeriflavum* from oil-polluted ecosystems. *Environmental Health Engineering and Management*. 2022. Vol. 9, no. 2. P. 97–104. URL: <https://doi.org/10.34172/ehem.2022.11> (date of access: 08.06.2025).

17. Isolation and Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degrading *Mycobacterium* Isolates from Soil / C. D. Miller et al. *Microbial Ecology*. 2004. Vol. 48, no. 2. P. 230–238. URL: <https://doi.org/10.1007/s00248-003-1044-5> (date of access: 08.06.2025).

18. Волошина І. М. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СИНТЕЗУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НАФТООКИСНЮВАЛЬНИМИ БАКТЕРІЯМИ : автореф. дис. ... канд. / Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України. Київ, 2006. 24 с.

19. Cappelletti M. Biotechnology of *Rhodococcus* for the production of valuable compounds. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020. С. 8567–8594.

20. Culture Conditions for Production of Microbial Flocculant by *Rhodococcus erythropolis* / R. Kurane et al. *Agricultural and Biological Chemistry*. 1986. Vol. 50, no. 9. P. 2309–2313. URL: <https://doi.org/10.1080/00021369.1986.10867747> (date of access: 10.06.2025).

21. Potential of *Rhodococcus erythropolis* as a bioremediation organism / A. Čejková et al. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2005. Vol. 21, no. 3. P. 317–321. URL: <https://doi.org/10.1007/s11274-004-2152-1> (date of access: 10.06.2025).

22. Darsa K. V., Thatheyus A. J., Ramya D. Biodegradation of Petroleum Compound Using the Bacterium *Bacillus subtilis*. *Science International*. 2014. Vol. 2, no. 1. P. 20–25. URL: <https://doi.org/10.17311/sciintl.2014.20.25> (date of access: 08.06.2025).

23. Purnomo A. S., Rizqi H. D., Harmelia L. Culture of Bacterium *Bacillus subtilis* as Degradation Agent in Attempt of Sea Water Remediation Contaminated By

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Petroleum. *Journal of the Indonesian Chemical Society*. 2020. Vol. 3, no. 1. P. 53.

URL: <https://doi.org/10.34311/jics.2020.03.1.53> (date of access: 08.06.2025).

24. Bell K. S. The genus *Rhodococcus*. *Journal of Applied Microbiology*. 1998. T. 85. C. 195–210.

25. Hernández M. A. Central Metabolism of Species of the Genus *Rhodococcus*. *Biology of Rhodococcus*. 2019. T. 16 : 2. C. 61–82.

26. Goodfellow M. Rhodococcal systematics: problems and developments. *Atonie van Leeuwenhoek*. 1998. T. 74. C. 3–20.

27. Pacheco G. J. BIOSURFACTANT PRODUCTION BY RHODOCOCCLUS ERYTHROPOLIS AND ITS APPLICATION TO OIL REMOVAL. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2010. T. 41. C. 685–691.

28. *Rhodococcus erythropolis*. *BacDive*. URL: <https://bacdive.dsmz.de/strain/10853>.

29. Karpenko E. V. The Prospects of Using Bacteria of the Genus *Rhodococcus* and Microbial Surfactants for the Degradation of Oil Pollutants. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2006. T. 42 : 2. C. 156–159.

30. Ігнатенко С. В Розробка технології періодичного вирощування *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1 – Продуцента поверхнево-активних речовин : автореф. дис. ... канд. / НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ. Київ, 2014. 24 с.

31. de Carvalho C. C. C. R., da Fonseca M. M. R. The remarkable *Rhodococcus erythropolis*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2005. Vol. 67, no. 6. P. 715–726. URL: <https://doi.org/10.1007/s00253-005-1932-3> (date of access: 05.06.2025).

32. Органічна хімія : навч. посіб. [для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Фармація»] / Автори: Іващенко О., Копанцева Л. – Полтава : ПДМУ, 2023. – 192 с.

33. Production of Surfactants by *Rhodococcus erythropolis* Strain EK-1, Grown on Hydrophilic and Hydrophobic Substrates / T. P. Pirog et al. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2004. Vol. 40, no. 5. P. 470–475.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

34. Карлаш Ю.В., Красінько В.О. Основи проєктування біотехнологічних виробництв Електронний ресурс : Навч. посібник. –К.:НУХТ, 2022. –373 с.
35. Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Львів: Інтелект-Захід, 2008. 736 с.
36. Поводзинський В. М. Основи проєктування біотехнологічних виробництв. Конспект лекцій для студентів спеціальності 6.092900 та 7.092901 «Промислова біотехнологія» напряму 0929 “Біотехнологія” денної та заочної форм навчання. 2006.
37. Cappelletti M. Degradation of Alkanes in Rhodococcus. *Biology of Rhodococcus*. 2019. Т. 16 : 2. С. 137–164.
38. Пирог Т. Особливості окиснення алканів у RHODOCOCUS ERYTHROPOLIS ек-1 – Продуцента Поверхнево-активних речовин. *Мікробіологія*. 2009. Т. 71 : 4. С. 9–14.
39. Shanshan L. The Desulfurization Pathway in Rhodococcus. *Biology of Rhodococcus*. 2019. Т. 16 : 2. С. 203–2025.
40. Biology of Rhodococcus / ed. by H. M. Alvarez. Cham : Springer International Publishing, 2019. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11461-9> (date of access: 10.06.2025).
41. Merck. URL: <https://www.sigmaaldrich.com/UA/en>.
42. Lang S., Philp J. C. Surface-active lipids in rhodococci. *Antonie van Leeuwenhoek*. 1998. Vol. 74, no. 1/3. P. 59–70. URL: <https://doi.org/10.1023/a:1001799711799> (date of access: 05.06.2025).
43. Дой-Пак з зіп замком 1 к. "ТЕРА ПЛАСТ" - ВИРОБНИЦТВО ПАКУВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ. URL: <https://teraplast.com.ua/ua/p325410952-doj-pak-zip.html>.
44. ENZIM Есо - Препарати для захисту навколишнього середовища. *ENZIM Biotech*. URL: <https://enzim.prom.ua/ua/g28137013-enzim-eco-preparaty>.
45. Деструктори та оздоровлювачі. *BTU*. URL: <https://btu-center.com>.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

46. Завдані збитки. Земельні ресурси.

URL: <https://ecozagroza.gov.ua/damage/shove> (дата звернення: 09.06.2025).

47. Ружинська Л.І. Проектування реакторів біотехнологічних та фармацевтичних виробництв. Навч. посібник/ Укладачі: Л.І. Ружинська, І А Буртна, В.М.Поводзинський, В.Ю. Шибєцький – К.: НТУУ «КП», 2014 – 130 с.

48. Охорона праці та цивільний захист: Підручник для студентів, які навчаються за спеціальностями галузей знань «Автоматизація та приладобудування» / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська. За ред. О. Г. Левченка. – Київ: КП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 420 с.

49. Безпека життєдіяльності та цивільний захист [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей з природничих, соціально-гуманітарних наук та інженерно-комунікаційних технологій / О. Г. Левченко, О. В. Землянська, Н. А. Праховнік, В. В. Зацарний; КП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,2 Мбайт). – Київ: КП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 267 с.

50. Про охорону праці. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 06.06.2025).

51. Правила поводження з хімічними речовинами в лабораторії: інструкції та протоколи | Лабторг. *Лабторг-продаж лабораторного обладнання*. URL: <https://labtorg.net/blog/pravila-povodzhennya-z-himichnimi-rechovinami-v-laboratoriyi-instrukciyi-ta-protokoli?srsltid=AfmBOooY6GTdx1kn7MiA5N9zbXn3xVYfN1MbYMCsFsEObUrVuAq7lKQ5> (дата звернення: 06.06.2025).

52. Шкідливий вплив виробничого шуму на організм людини та засоби його мінімізації на робочому місці – *Управління інспекційної діяльності у Тернопільській області Південно-Західного міжрегіонального управління Державної служби з питань праці – Управління інспекційної діяльності у Тернопільській області Південно-Західного міжрегіонального управління Державної служби з питань праці*. URL: <https://te.dsp.gov.ua/shkidlyvyj-vplyv-vyrobnychogo-shumu-na-organizm->

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

[lyudyny-ta-zasoby-jogo-minimizatsiyi-na-robochomu-mistsi/](#) (дата звернення: 06.06.2025).

53. Про охорону навколишнього природного середовища. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 06.06.2025).

54. Практикум з біотехнологій очищення води : навчальний посібник: навч. посіб. для студ. спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад: Л.А. Саблій, О. М. Бунчак, В.С. Жукова. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 106 с.

55. Проєктування біотехнологічних виробництв. Курсовий проєкт [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Біотехнології» спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. А. Саблій, І. І. Левтун, І. В. Дем'яненко, Л. В. Маринченко. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 92 с.

56. Нікітченко О. Ю. Конспект лекцій з дисципліни “Промислова екологія” О. Ю. Нікітченко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 164 с.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Додаток А
Специфікація обладнання

Позиція	Позначення	Найменування	К- сть	Ма- са	Примітки
1	2	3	4	5	6
ПЗ-1 ПЗ-46		Повітрозабірник	2		Збірний Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
КП-1.1 КП-2.1 КП-3.1 КП-5.2 КП-8.1 КП-9.1 КП-12.1 КП-27.3 КП-29.2 КП-42.2 КП-45.1 КП-46.1 КП-47.1		Манометр	13		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
Ф-2 Ф-47		Фільтр грубої очистки	2		Збірний. Ефективність очищення -60 %

					<i>ДП ББ11.16.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Додаток А</i>		
<i>Розробив</i>	<i>Ліщун Н.С.</i>						
<i>Перевірив</i>	<i>Гриняк І.І.</i>						
<i>Т. Контр.</i>							
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						86	96
					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		

В-3 В-48		Вентилятор	2		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
К-4		Кондиціонер	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
Рс-5		Ресивер	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
КП-5.1 КП-6.1 КП-7.1 КП-17.1 КП-20.1 КП-23.1 КП-27.1 КП-34.1 КП-37.3 КП-38.3 КП-41.1 КП-42.1		Термометр	13		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
Ф-6		Головний фільтр, НЕРА фільтр	1		Збірний. Ефективність очищення -95 %
Ф-7		Індивідуальний фільтр	3		Збірний. Ефективність очищення - 99,9999 %

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Н-8 Н-12 Н-16 Н-30 Н-40 Н-43		Відцентровий насос	6		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
Ф-9		Фільтр з піщаним наповнювачем	1		Коефіцієнт заповнення – 0,7. Періодичність регенерації – раз на тиждень
Ф-10 Ф-13		Фільтр зворотного осмосу	2		Збірний
КП-10.1 КП-27.2 КП-29.1 КП-37.1 КП-38.1		рН-метр	6		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
КП-10.2		Потенціометр			
Д-11 Д-18 Д-20 Д-21 Д-24		Дозатор для рідких речовин	5		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
УФЛ-14		Установка стерилізації води ультрафіолетом	1		Збірний.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

З-15		Збірник для води очищеної	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
КП-15.1		Електронний манометр	1		
Д-17 Д-23 Д-26 Д-28 Д-51		Дозатор для сипких речовин	4		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
Р-19 Р-22 Р-25		Реактор-змішувач для приготування допоміжних розчинів	3		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
Р-27		Реактор для приготування ПС для отримання інокуляту	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т Об'єм 4 м ³
Р-29		Реактор для приготування ПС для виробничого культивування	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т Об'єм 12 м ³
КП-29.3 КП-49.1 КП-50.1		Термопара			Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
К-31		Колонка швидкісного нагрівання	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т

Т-32		Витримувач місткісний трьох- корпусний	1		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
Т-33 Т-34		Пластичастий теплообмінник	2		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
КК-35		Конічна колба, об'єм 100 см ³	1		Термостійке скло
КК-36		Конічна колба, об'єм 1000 см ³	1		Термостійке скло
Р-37		Інокулятор	1		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т Об'єм 0,2 м ³ . n = 200 об/хв
КП-37.2 КП-38.2 КП-39.3		Рівнемір	3		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
Р-38		Інокулятор	1		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т Об'єм 2 м ³ .
Р-39		Ферментер з турбінною мішалкою,	1		Збірний.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

		барботером, сорочкою та змійовиком			Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т Об'єм 16 м ³ n = 200 об/хв
СП-41		Сепаратор-згущувач, статичний тарілчастий	3		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т n = 6500 об/хв
З-42		Збірник для промивання суспензії	3		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
ВК-44		Вакуум-компресор	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
ВФ-45		Барабанний вакуум- фільтр	1		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
К-49		Калорифер паровий	1		Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
СШ-50		Сушарка розрідженого шару	1		Збірний. Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
СК-52		Конвеєр	1		Збірний.

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

					Нержавіюча сталь 12Х18Н10 Т
--	--	--	--	--	-----------------------------------

					ДП ББ11.16.000 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		