

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.М. Мельник

«___» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему: «Модернізація анаеробного біофільтра»

Виконав:

студент VI курсу, групи БІ-71мп

Комлева Олена Петрівна _____

Керівник:

к.т.н., доцент

Ружинська Л.І. _____

Консультант з розробки стартап-проекту:

к.е.н., доцент

Ткаченко Т.П. _____

Рецензент _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 133 «Галузеве машинобудування» («Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Мельник В.М. Мельник
(підпис) (ініціали, прізвище)

«11» листопада 2018 р.

ЗАВДАННЯ

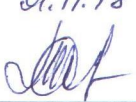

на магістерську дисертацію студенту

Комлєвій Олені Петрівні

1. Тема дисертації: «Модернізація анаеробного біофільтра», науковий керівник дисертації Ружинська Людмила Іванівна, затверджені наказом по університету від «12» 11 2018р. № 444-2
2. Термін подання студентом дисертації 07.12.2018
3. Об'єкт дослідження: анаеробний біофільтр.
4. Предмет дослідження: процеси гідродинаміки в анаеробному біофільтрі з площинним завантаженням.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести літературний аналіз за темою дисертації, дослідити стан проблеми; розглянути математичну модель зростання та відриву бульбашки біогазу на поверхні біоплівки, провести чисельний експеримент на її основі; запропонувати оптимізаційну конструкцію анаеробного біофільтра; розробити конструкцію анаеробного біофільтра та 3D модель апарату.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Установка для очищення стічної води виробництва кормових дріжджів. Апаратурно-технологічна схема (A1); Анаеробний біофільтр. Складальні креслення (A1, A1). Секція завантаження. Складальне креслення (A1). Плакати за темою магістерської дисертації.

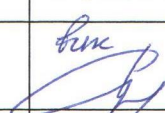
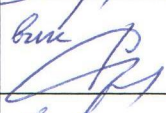
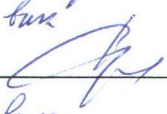

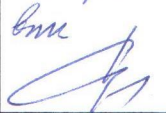
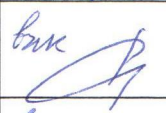
7. Орієнтовний перелік публікацій: _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап проекту	- Ткаченко Т. П., доцент	01.11.18 	13.12.18 

9. Дата видачі завдання 03.09.2018

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд; дослідження стану проблеми	03.09.2018- 03.12.2018	вик 
2	Теоретичні дослідження	15.10.2018- 12.11.2018	вик 
3	Патентний пошук; розробка конструкції анаеробного біофільтра	10.09.2018- 15.10.2018	вик 
4	Проведення комп'ютерного моделювання; оформлення результатів експерименту	12.11.2018- 03.12.2018	вик 
5	Практична реалізація; розроблення технічної документації на анаеробний біофільтр	04.04.2018- 30.04.2018	вик 
6	Розробка стартап-проекту	05.11.2018- 07.12.2018	вик 
7	Оформлення пояснювальної записки, креслень та документації	10.09.2018- 07.12.2018	вик 

Студент


О.П. Комлева

Науковий керівник дисертації


Л.І. Ружинська

РЕФЕРАТ

УДК 628.35

Атестаційна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему: «Модернізація анаеробного біофільтра» / НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»; Керівник Ружинська Л.І. – К., 2018. – 147 с.: іл. – 36. Виконавець Комлева О.П. – Бібліогр.: 28п.

Робота складається з переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку посилань і додатків. Повний обсяг роботи становить 147 сторінок, 36 рисунків, 25 таблиць і переліку посилань з 28 найменувань (на 4 сторінках).

Протягом останніх десятиліть технологія анаеробного розкладу пройшла новий етап розвитку і сьогодні може розглядатись як один з найефективніших методів утилізації відходів органічного походження. Тому її належне використання повинно розглядатись як важливий інструмент енергетичної та природоохоронної політики держави.

Сучасні розробки в області інтенсифікації анаеробних процесів фокусуються на стабілізації метаногенезу та зменшенні габаритів установки. Перспективним напрямом є дослідження анаеробних біофільтрів, що відрізняються компактністю, підвищеною стійкістю проти негативних впливів та високою ефективністю.

Об'єктом дослідження слугує анаеробний біофільтр.

Предметом дослідження є процеси гідродинаміки в анаеробному біофільтрі з площинним завантаженням.

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності анаеробних біофільтрів для очищення стічної води.

Проведені математичні та комп'ютерні дослідження показали, що запропонована конструкція є ефективнішою за стандартні та може бути використана при конструюванні нового обладнання або вдосконаленні вже існуючого.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ, АНАЕРОБНИЙ БІОФІЛЬТР, СТІЧНІ ВОДИ, БІОГАЗ.

ANOTATION

Attestation work of the educational qualification level "Master" on the theme: "Modernization of anaerobic biofilter" / NTUU "KPI named after Igor Sikorsky"; Head Ruzhinska L.I. - K., 2018. - 147 p. Il. - 36. Performer Komlieva O.P. - Bibliographer: 28p.

The work consists of a list of symbols, an introduction, five sections, conclusions, a list of references and annexes. The full volume of work is 147 pages, 36 figures, 25 tables and a list of references from 28 titles (on 4 pages).

During the last decades, the technology of anaerobic decomposition has undergone a new stage of development and today can be considered as one of the most effective methods of utilization of waste of organic origin. Therefore, its proper use should be considered as an important instrument of the state's energy and environmental protection policy.

Modern developments in the field of intensification of anaerobic processes are focused on stabilizing methanogenesis and reducing the size of the installation. A promising direction is the study of anaerobic biofilters that are compact, with high resistance to negative influences and high efficiency

The object of the study is anaerobic biofilter.

The subject of the study is the processes of hydrodynamics in an anaerobic biofilter with plane loading.

The purpose of the study is to increase the efficiency of anaerobic biofilters for the treatment of sewage.

The conducted mathematical and computer studies have shown that the proposed design is more effective than standard and can be used in designing new equipment or improving existing ones.

KEY WORDS: BIOLOGICAL CLEANING, ANAEROBIC BIOFILTR, STEERING WATERS, BIOGAS

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, скорочень та термінів.....	9
ВСТУП.....	11
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	
1.1 Порівняння аеробних і анаеробних методів очищення стічної води	13
1.2 Сучасні уявлення про процес метанового збродження	19
1.3 Класифікація біоенергетичних установок.....	27
1.4 Конструктивні особливості анаеробних біореакторів.....	28
1.4.1 Основні типи конструкцій анаеробних біореакторів	28
1.4.2 Особливості носіїв мікрофлори	43
1.4.3 Вибір дослідної конструкції біофільтра	45
1.5 Огляд математичних моделей процесу синтезу біогазу.....	47
1.6 Висновки	55
1.7 Постановка задач дослідження	56
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗРОСТАННЯ ТА ВІДРИВУ БУЛЬБАШКИ БІОГАЗУ НА ПОВЕРХНІ БІОПЛІВКИ.....	57
2.1. Теоретичні дослідження.....	57
2.1.1 Математична модель зростання та відриву бульбашки біогазу на поверхні біоплівки	58
2.1.2 Зв'язок тертя на стінці носія з параметрами швидкості потоку і введення газу	64
2.2 Результати чисельного експерименту	67
2.2.1 Нерухоме середовище	67
2.2.2 Постійне введення стічної води висхідним потоком.....	70
2.3 Висновки	74
3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АНАЕРОБНОГО БІОФІЛЬТРА ...	75

3.1 Вибір програмного забезпечення та побудова моделі	75
3.2 Аналіз результатів моделювання.....	79
3.3 Висновки	80
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ АНАЕРОБНОГО БІОФІЛЬТРУ	81
4.1 Опис технологічної схеми очищення стічної води виробництва кормових дріжджів.....	81
4.2 Конструктивні особливості анаеробного біофільтра	83
4.2.1 Порівняльний аналіз основних показників конструкції з діючими аналогами.....	83
4.2.1.1 Реферати про найбільш суттєві технічні рішення	83
4.2.1.2 Відомості про використані винаходи, результати патентних досліджень і патентну чистоту	86
4.2.1.3 Висновки патентних досліджень	86
4.2.2 Принцип роботи анаеробного біофільтра	87
4.2.3 Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів.....	88
4.3 Технічна характеристика апарату.....	89
4.4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції біофільтра	90
4.4.1 Технологічний розрахунок.....	90
4.4.2 Матеріальний баланс	93
4.4.3 Розрахунок теплофізичних властивостей біогазу.....	95
4.4.4 Перевірка швидкості потоку рідини у біофільтрі.....	96
4.4.5 Тепловий розрахунок біофільтру	97
4.4.5.1 Тепловий баланс	97
4.4.5.2 Тепловий розрахунок процесу нагрівання у біофільтрі	99

4.4.6 Конструктивний розрахунок біофільтра	102
4.4.6.1 Конструктивний розрахунок завантаження	102
4.4.6.2 Конструктивний розрахунок зміювика	103
4.4.7 Гідравлічний розрахунок біофільтра.....	104
4.5 Рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації	106
4.5.1 Компоновка та монтаж.....	106
4.5.2 Випробування	107
4.5.3 Вимоги до експлуатації апарату	108
4.6 Висновки.....	109
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	110
5.1 Резюме.....	110
5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства.....	113
5.3 Методом Шонфільда визначити ключові фактори успіху проекту	118
5.4 Оцінка ринкових позицій	122
5.4.1 Договір.....	122
5.4.2 Технічне завдання.....	126
5.5 Оцінка ризиків та страхування розробки	129
5.6 Калькуляція собівартості	133
5.7 Методи ціноутворення	137
5.8 Висновки	141
ВИСНОВКИ	142
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	144
Додаток А Специфікації	

Перелік умовних позначень, скорочень та термінів

- V – об'ємна швидкість виходу біогазу, $\text{м}^3 / (\text{м}^3 \text{доба})$;
- V_0 – граничний вихід біогазу з одиниці органічної речовини заданого складу, $\text{м}^3/\text{кг}$;
- S – вихідна концентрація органічної речовини в субстраті, $\text{кг}/\text{м}^3$;
- μ – максимальна питома швидкість росту мікроорганізмів в заданому процесі ферментації, доба^{-1} ;
- k – кінетичний параметр процесу;
- τ_e – час експозиції, доба;
- ρ'' – густина біогазу, $\text{кг}/\text{м}^3$;
- $Q_1 S_0$ – кількість ХСК, що поступає у біофільтр, кг;
- $r_a A * \delta_{пл} X_2$ – кількість ХСК, перетвореного на біогаз, кг;
- $Q_1 (S_0 - S_2) \cdot S_m$ – кількість ХСК, перетвореного на біомасу, кг;
- $Q_2 S_2$ – ХСК стічної води на виході з біофільтру, кг;
- $Q_{ап}$ – кількість теплоти, що йде на нагрівання апарату, Вт;
- $Q_{БГ}$ – кількість теплоти, що втрачається з утвореним біогазом, Вт;
- $Q_{СВ2}$ – кількість теплоти, що втрачається з відводом відпрацьованої стічної води, Вт;
- R – радіус згину змійовика, м;
- d_3 – зовнішній діаметр труби змійовика, м;
- $L_{зм}$ – довжина труби змійовика, м;
- $F_{зм}$ – загальна площа змійовика, м^2 ;
- $\Delta p_{тр}$ – втрати тиску через тертя о стінки каналів завантаження, Па;
- Δp_H – втрати тиску на підняття рідини, Па;
- τ – дотичне напруження на стінці, $\text{Н}/\text{м}^2$;
- Π – змочений периметр каналу, м;
- S – площа перетину каналу, м^2 ;
- l – довжина каналу, м;

$Re_{ж}$ – число Рейнольдса рідини;

d_e – еквівалентний діаметр каналу, м.

Δ – шорсткість поверхні біоплівки, м;;

Nu – критерій Нусельта;

Pr – критерій Прандтля;

g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ;

k_p – коефіцієнт теплопередачі, $\frac{Вт}{m^2 \cdot K}$;

HRT – час гідравлічного перебування, год.

ВСТУП

Інтенсивний розвиток багатьох підприємств України практично всіх галузей агропромислових комплексів спиртової, цукрової, коньячної, ромової, виноробної, пивоварної, сироварної, молочної, м'ясної, переробці фруктів, овочів, а також тваринницьких ферм, виробництва білка з кормових трав, мікробіологічної, хіміко-фармацевтичної та деяких виробництв хімічної промисловості призводить до збільшення забруднень стічними водами природніх водойм, що веде до екологічної катастрофи. Розгляд даного питання виявив багато проблем, в тому числі і проблему очищення стічних вод. Вирішувати її за звичним шляхом, тобто прокласти багатокілометрові каналізаційні колектори до всіх підприємств дуже не рентабельно. Часто цей шлях приносить прямо протилежний результат через велику кількість витоків стічних вод в ґрунти (в результаті біокорозії матеріалу каналізаційних труб, зрушень ґрунтів і т.д.) і витоків біогазу в атмосферу. До всього цього потрібно враховувати швидке збільшення популяції бактерій і паразитів в каналізаційних колекторах різного роду, де для них створюються умови для розмноження.

Корегувальною дією виявленої проблеми є очищення стічних вод в місцях їх утворення, тобто в безпосередній близькості до промислових комплексів або ж на їх території. Практика очищення стічних вод показує, що найбільш ефективним для даного виду стоків є біологічне очищення.

Біологічне очищення – метод очищення стічних вод від органічних і деяких неорганічних домішок, що здійснюється спільнотою мікроорганізмів (біоценозом), яка включає велику кількість різних бактерій, простіших і ряд більш високоорганізованих організмів – водоростей, грибків тощо, пов'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаємовідносинами (метабіоз, симбіоз і антагонізм). Під дією мікроорганізмів можуть відбуватись окислювальний (аеробний) чи відновлювальний (анаеробний) процеси.

Анаеробні методи переробки стічної води відрізняються від аеробних тим, що 90% споживаних органічних сполук переводяться в продукти метаболізму, основною складовою яких є цінний енергоносіє – метан, і тільки 10% – перетворюються в біомасу. Це обумовлює перспективність використання анаеробних методів очистки промислової стічної води.

Процеси анаеробного очищення протікають в герметичних метантенках або біореакторах з закріпленою мікрофлорою (біофільтрах), які виконуються з бетону, металу або високоміцного пластика. Під час розкладання органіки чисельність колонії бактерій практично не змінюється. Оскільки в конструкції не потрібна складна система контролю умов середовища, то анаеробна очистка – більш дешевий метод.

Перевагою анаеробного біологічного очищення стічних вод є висока швидкість і використання речовин в низьких концентраціях, а також відносно незначне утворення мікробної біомаси. Незважаючи на численність запропонованих апаратів для систем очищення води до останнього часу не має досконалих конструкцій анаеробних біофільтрів, які в повній мірі задовольняли б потребам виробництва. Використання анаеробних біофільтрів в системах очищення стічної води обмежене відсутністю науково-обґрунтованих методів їх проектування, які враховують гідродинамічні, тепло- і масообмінні процеси, що протікають в біореакторі. Для визначення шляхів підвищення ефективності біофільтрів в роботі проводиться дослідження гідродинамічних та масообмінних процесів, що відбуваються при очищенні промислової стічної води.

Об'єкт дослідження: анаеробний біофільтр.

Предмет дослідження: процеси гідродинаміки в анаеробному біофільтрі з площинним завантаженням.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності анаеробних біофільтрів для очищення стічної води.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Порівняння аеробних і анаеробних методів очищення стічної води

Стічна вода біотехнологічних чи харчових виробництв, яка утворюється або безпосередньо в процесі виробництва, або при митті технологічного обладнання, має різну ступінь забрудненості. Забрудненість стічної води органічними сполуками, виражена у величині ХСК, являє собою залишки або втрати вихідної сировини, або залишки виробленого продукту, і тому такі забруднення добре розкладаються біологічним шляхом. Для очищення такої стічної води, як і для будь-якої іншої стічної води, необхідно вибрати оптимальний метод обробки. При використанні біологічних методів насамперед потрібно розглянути, які переваги і недоліки, у тому числі і з точки зору економічної ефективності, мають анаеробний і аеробний методи очищення стічної води [1].

При аеробному процесі очищення стічної води необхідною умовою роботи реактора є неперервне введення кисню під час ферментації. Це призводить до додаткових витрат і, незважаючи на те, що процес деструкції органічної речовини відбувається активніше, ніж при анаеробному зародженні, у результаті біоконверсії утворюється велика кількість надлишкової біомаси, ставлячи проблему її утилізації. Анаеробні методи переробки стічної води відрізняються тим, що 90% споживаних органічних сполук переводяться в продукти метаболізму, основною складовою яких є цінний енергоносіє – метан, і тільки 10% - перетворюються в біомасу. Це обумовлює перспективність використання анаеробних методів очистки промислової стічної води.

У таблиці 1.1 наведено короткий перелік особливостей методів аеробної та анаеробної переробки стічної води.

Таблиця 1.1 – Порівняння аеробних і анаеробних методів очищення стічної води [1]

Аеробний метод очищення	Анаеробний метод очищення
1	2
Галузь та умови використання	
<ul style="list-style-type: none"> • тільки після попереднього освітлення (відстоювання); 	<ul style="list-style-type: none"> • можна застосовувати без попереднього освітлення (відстоювання);
<ul style="list-style-type: none"> • може застосовуватися при невисоких концентраціях забруднення стічної води; 	<ul style="list-style-type: none"> • може застосовуватися тільки при високих концентраціях забруднення стічної води (>2000мг/л)
<ul style="list-style-type: none"> • використання відносно холодної води; 	<ul style="list-style-type: none"> • відносно тепла вода(>25°С)
<ul style="list-style-type: none"> • надходження токсичних речовин на очисні споруди умовно дозволено; 	<ul style="list-style-type: none"> • надходження токсичних речовин на очисні споруди заборонено
<ul style="list-style-type: none"> • потрібна попередня нейтралізація для лужної стічної води. 	<ul style="list-style-type: none"> • лужна стічна вода обробляється без попередньої нейтралізації.

продовження таблиці 1.1.

1	2
Особливості експлуатації очисних споруд	
<ul style="list-style-type: none"> • необхідна безперервна подача стічної води на очисні споруди; 	<ul style="list-style-type: none"> • можуть існувати значний час без надходження "свіжої" стічної води
<ul style="list-style-type: none"> • при жорстких вимогах до якості стічної води використовуючи декілька ступенів очищення можна отримати необхідні значення ПДК; 	<ul style="list-style-type: none"> • при жорстких вимогах до якості стічної води необхідна аеробна ступінь доочищення;
<ul style="list-style-type: none"> • можливо інтегроване зниження вмісту в стічній воді N і P; 	<ul style="list-style-type: none"> • не спостерігається значне зниження вмісту у воді N і P;
<ul style="list-style-type: none"> • утворюється велика кількість надлишкового активного мулу; 	<ul style="list-style-type: none"> • утворюється дуже мала кількість надлишкового активного мулу;
<ul style="list-style-type: none"> • через це при застосуванні носіїв біомаси велика вірогідність їх засмічення; 	<ul style="list-style-type: none"> • немає небезпеки швидкого засмічення носіїв біомаси;
<ul style="list-style-type: none"> • невелика об'ємна продуктивність очисних споруд, потреба у великих виробничих площах; 	<ul style="list-style-type: none"> • висока об'ємна продуктивність очисних споруд, потреба в малих виробничих площах;
<ul style="list-style-type: none"> • висока трудомісткість обслуговування систем аерації, устаткування для зневоднення і т.д.; 	<ul style="list-style-type: none"> • майже не вимагають технічного обслуговування
<ul style="list-style-type: none"> • часто - сильний неприємний 	<ul style="list-style-type: none"> • відсутність запаху, так як

запах.	використовуються закриті ємності.
Відходи	
• проблема утилізації відходів	• отримання енергетично цінного біогазу
Грошові затрати	
• менші інвестиційні витрати;	• часто значні інвестиційні витрати;
• високі експлуатаційні витрати;	• нижчі експлуатаційні витрати;
• аерація води, велика потреба в електроенергії;	• невелика потреба в електроенергії;
• потреба у внесенні поживних речовин;	• не потрібно введення додаткових поживних речовин;
• зневоднення, транспортування і розміщення активного мулу.	• мала кількість надлишкового активного мулу;
	• рентабельно при відносно великих розмірах.

З наведеної таблиці випливає:

1. Анаеробні методи очищення дозволяють значно скоротити затрати на експлуатацію установки, так як не потребуються затрати на аерацію середовища, значно знижуються затрати на утилізацію відпрацьованого активного мулу завдяки порівняно невеликій його кількості, знижуються витрати на обслуговування. В деяких випадках можливо отримати додатковий прибуток від використання утвореної на установці енергії.

2. Використання анаеробних методів очищення є особливо ефективним для високих концентрацій забруднень у стічній воді, а також для великих об'ємів води, яка поступає на очищення, що характерно для промислових стоків.

3. Анаеробні біофільтри стійкі до залпових викидів стічної води, а також зберігають свою працездатність при тривалій відсутності надходження свіжого субстрату, що характерно для циклічного виробництва.

4. Так як при анаеробних процесах використовуються закриті ємкості, знижуються викиди шкідливих речовин в атмосферу, тобто такі виробництва є більш екологічними.

5. Вагомим недоліком існуючих анаеробних процесів очищення стічної води є низька продуктивність за вилученням ХСК у порівнянні з аеробними процесами.

6. На відміну від аеробних, анаеробні методи очищення не дозволяють видалити сполуки азоту та фосфору.

Таким чином, для очищення промислової стічної води в багатьох випадках доцільно використовувати комбіновані аеробно-анаеробні процеси. На першому етапі при високій концентрації органічної речовини використовується анаеробне очищення, яке дозволяє знизити рівень ХСК на 70-80%. Подальше доочищення стічної води проводиться на установках аеробного очищення. Саме такий підхід використовується сучасними компаніями, які займаються біологічною очисткою стічної води, як BIOMAR, Німеччина [1].

Також, наведене порівняння особливо ясно показує, що в біотехнологічних виробництвах та харчовій промисловості, де стічна вода високо забруднена органічними сполуками, застосування анаеробних методів

очищення особливо вигідно. Утворений на очисних спорудах біогаз ефективно використовувати, наприклад, для отримання гарячої води або пари, то очисні споруди можуть функціонувати з прибутком. Анаеробні установки особливо підходять для стічної води з високим значенням ХСК і БСК. При особливо жорстких вимогах до якості очищених стічної води, особливо при скиданні очищеної стічної води у поверхневі водойми, можливо поєднання анаеробного і аеробного очищення. Такі очисні споруди надійно функціонують в різних кліматичних умовах [1].

Ступінь деградації забруднень та утвореного об'єму біогазу залежать від складу субстрату, умов протікання процесу. Слід зазначити, що метаногени виявляють значну чутливість до змін робочих параметрів, таких як зміна температури або швидкості подачі субстрату, реагуючи на них скороченням виділення біогазу та зменшенням ступеня розкладу забруднень, що призводить до інгібування інших біохімічних процесів надлишком неперероблених речовин. Разом з тим, анаеробні методи очищення стічної води відрізняються відсутністю витрат на аерацію та низькою енергоємністю, що доповнюється отриманням цінного енергоносія та малою кількістю надлишкового мулу.

Сучасні розробки в області інтенсифікації анаеробних процесів фокусуються на стабілізації метаногенезу та зменшенні габаритів установки. Перспективним напрямом є дослідження анаеробних біофільтрів, що відрізняються компактністю, підвищеною стійкістю проти негативних впливів та високою ефективністю [2].

Протягом останніх десятиліть технологія анаеробного розкладу пройшла новий етап розвитку і сьогодні може розглядатись як один з найефективніших методів утилізації відходів органічного походження. Тому

її належне використання повинно розглядатись як важливий інструмент енергетичної та природоохоронної політики держави.

1.2 Сучасні уявлення про процес метанового збродження

Розпад органічних речовин при метановому зброджуванні являє собою складний анаеробний процес, який здійснюється в результаті життєдіяльності мікроорганізмів. Бродиння називається метановим, так як остання стадія здійснюється метаноутворюючими бактеріями, а одним з основних кінцевих продуктів розпаду органічної речовини є метан [3]. Отже, як кінцевий продукт після метанового збродження маємо біогаз, який представляє собою суміш газів, основними складовими якої є метан (50-87%), вуглекислий газ (13-50%), та інші домішки в незначних кількостях. За складом та кількістю домішок біогази різного походження неоднакові.

Мікробний синтез біогазу здійснюється консорціумом різноманітних мікроорганізмів, серед яких присутні продуценти метану як основної складової утвореного газу.

Для метанового бродиння характерний широкий спектр споживаних речовин. Практично всі органічні сполуки, хоча й різною мірою, піддаються метановому бродинню, причому утворюються одні і ті ж кінцеві продукти.

Утворення метану з органічних відходів відбувається в результаті життєдіяльності декількох основних груп мікроорганізмів: гідролітиків, кислотоутворюючих бактерій, які перетворюють складні органічні сполуки в прості, які, в свою чергу, є джерелом живлення для метаноутворюючих бактерій. Метаноутворюючі бактерії більш чутливі до змін навколишнього середовища, ніж кислотоутворюючі, тобто метаноутворення є лімітуючою стадією процесу анаеробного зброджування [3].

Метаноутворюючі бактерії складають фізіологічно однорідну групу, але характеризуються великою різноманітністю морфологічних типів, з яких можна виділити чотири основних: палички, коки, вібріони і спірили [3].

З біохімічної точки зору метанове бродіння представляє собою анаеробне "дихання", в ході якого електрони з органічної речовини переносяться на вуглекислий газ, який в подальшому відновлюється до метану. Крім різних органічних субстратів (таких, як оцтова кислота) донорами електронів для метаноутворюючих бактерій слугує водень, який продукується декількома типами анаеробних бактерій. Для всіх метанобактерій характерна здатність до росту в присутності водню і вуглекислого газу, а також висока чутливість до кисню і інгібіторів виробництва метану. В даний час відомо близько 40 видів метаноутворюючих бактерій.

Найбільш важливим субстратом для метаноутворюючих бактерій є ацетат, з якого при розкладанні складних органічних речовин утворюється більше 40% метану. Метаногенні бактерії 90-95% використуваного вуглецю перетворюють в метан і лише 5-10% вуглецю переходить в біомасу. Завдяки цьому до 80-90% органічних речовин, що розкладаються в процесі розвитку метаногенного консорціуму, перетворюється в газ, а кількість утворенної біомаси набагато менша, ніж при аеробному процесі очищення, що значно знижує затрати на утилізацію відпрацьованого мулу.

Дослідники [3] вважають, що в процесі анаеробного розкладання органічної речовини слід виділяти три основні стадії, які протікають під впливом трьох фізіологічних груп бактерій (рисунок 1.1).

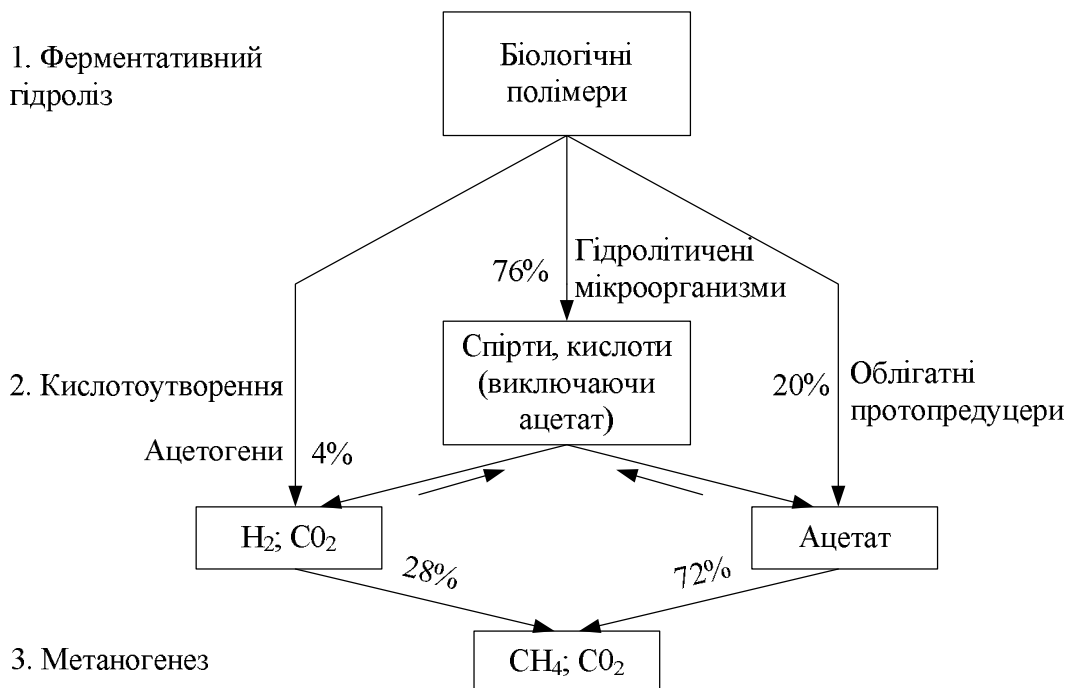


Рисунок 1.1 – Три стадії анаеробного розпаду органічної речовини.

На першій стадії складні багатовуглецеві речовини, які представляють собою основні класи органічних сполук (білки, жири, полісахариди), піддаються ферментативному гідролізу так званими "первинними" анаеробами. Одночасно під дією мікроорганізмів відбувається гідроліз моносахаридів, органічних кислот і спиртів. В результаті утворюються водень, вуглекислий газ, низькомолекулярні жирні кислоти, спирти і деякі інші сполуки. У здійсненні цієї стадії беруть участь анаеробні бактерії: *Clostridium*, *Bacteroides*, *Rumicoccus*, *Butyrivibrio*, а також факультативні анаероби: *Escherichiacoliu* *Bacillus* [3].

На другій стадії ацетогенні мікроорганізми, такі як *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Desulfovibrio* ферментують більш складні речовини в низькомолекулярні органічні кислоти, а так само H_2 і CO_2 . Ацетогенні бактерії включають в себе як облігатні, так і факультативні види. Крім того, на цій стадії діють також гомоацетогенні бактерії, які зброджують одно- і

багатовуглецеві з'єднання тільки до оцтової кислоти без утворення водню [3].

На третій стадії процесу подальший розпад органічних речовин здійснюється метаноутворюючими і сульфатредуючими мікроорганізмами, які використовують для підтримки своєї життєдіяльності метаболіти, що утворилися на попередніх стадіях. У здійсненні цієї стадії беруть участь анаеробні бактерії: *Methanosarcina*, *Methanoplasma*, *Methanosaeta*, тощо.

Автори [3] виділяють 5 стадій метаногенезу (рисунок 1.2):

1. Дезінтеграція, коли складні клітинні освіти розпадаються на окремі біополімери: білки, ліпіди, полісахариди та ін.;
2. Гідроліз складних біополімерних молекул (білків ліпідів, полісахаридів та інших) на простіші: амінокислоти вуглеці, жирні кислоти та ін.;
3. Ферментація (бродиння) утворилися мономерів до ще більш простих речовин: низьких кислот і спиртів, при цьому виділяється також діоксид вуглецю і водень;
4. Ацетогенез, коли утворюються безпосередні попередники метану: ацетат, водень, вуглекислота;
5. Метаногенез, в процесі якого з'являється кінцевий продукт розкладання складних органічних речовин – метан.

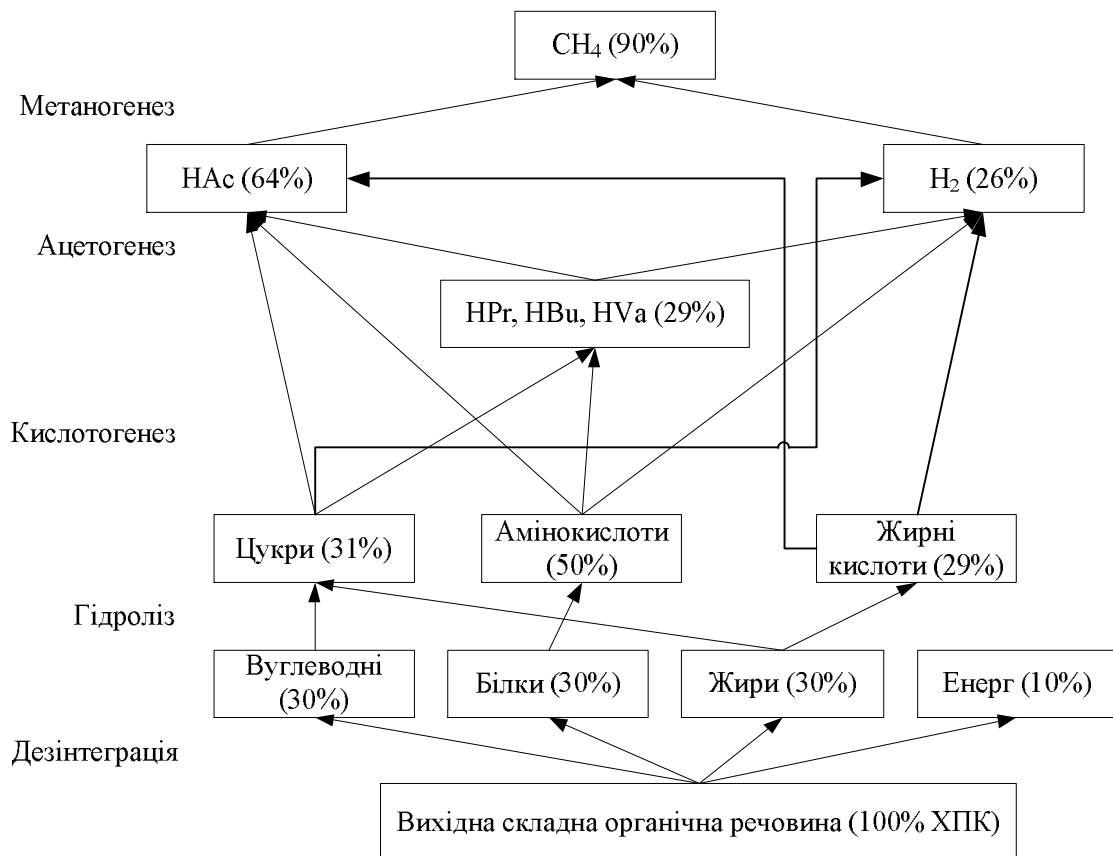


Рисунок 1.2 – Потоки ХСК при метановому зброджуванні.

Автори [4,5] об'єднують 2 та 3 стадію у попередньому розділенні, отже виділяють 4 стадії процесу метанового бродіння.

Крім основних груп бактерій, в метаногенному співтоваристві присутня велика кількість мікроорганізмів, які не беруть безпосередню участь в процесі деградації органічної речовини. Однак, вони виконують деякі важливі функції, такі, як забезпечення бактерій основними факторами, видалення токсичних продуктів анаеробного метаболізму, підтримка умов анаеробіоза. Найважливішою особливістю метаногеного біоценозу є наявність безлічі симбіотичних зв'язків між мікроорганізмами різних груп, при яких продукти життєдіяльності одних мікроорганізмів є поживними субстратами для інших. Завдяки цьому метаногенне мікробне співтовариство має здатність до саморегулювання і підтримання значень визначальних

факторів середовища, рН, окислювально-відновного потенціалу і т.д., що багато в чому визначає стабільність роботи метаногенних мікробних систем [4].

Таким чином, з рисунку 1.1 можна виділити три основні стадії метаногенезу, в кожній з яких беруть участь різні групи мікроорганізмів. Доцільним є фізичне розділення груп мікроорганізмів, які відповідають за кожну з стадій, що призводить до використання секційної конструкції біофільтра, в кожній секції якого переважає один з процесів. Такий підхід дає додаткову перевагу, так як співвідношення CO_2 і CH_4 в біогазі з різних стадій зародження відрізняється, а секціонування процесу дозволяє зменшити витрати на очищення отриманого біогазу.

Продуктування біогазу реалізується при метаболізмі концентрованих субстратів в результаті метанового зброджування. Цей процес реалізують дві форми біоценозів – активний мул та біоплівка. Для розробки математичної моделі тепломасообмінних параметрів роботи біофільтра потрібна інформація про структурні особливості активного мулу та біоплівки.

Активний мул як структурна одиниця представлений дрібними пластівцями від світлого до темно-коричневого кольору розміром до декілька сотень мікрометрів. Він сформований на 70 % з живих мікроорганізмів і на 30% з твердих частинок неорганічної природи. Пластівці складаються з великого числа багат шарово розташованих або флокульованих клітин.

Біоплівка є слизистим утворенням завтовшки 1 мм – 2 мм і більше того ж кольору, що і активний мул і вона, як правило, прикріплена до носія або до стінок біофільтра. Біоплівка – високо структуроване клітинне утворення, в якому мікробні клітини включені в комплексну матрицю. Організація, форма, щільність цього клітинного об'єднання є відповіддю на зміни умов навколишнього середовища. У разі гетерогенних біоплівок за участю трофічних ланцюгів, просторове розташування сприяє підвищенню

доступності субстратів для різних бактеріальних сінтрофічних видів. Мікробні клітини, які знаходяться в товщі біоплівки, захищені від можливих шкідливих впливів зовнішнього середовища і, таким чином, вони можуть виживати в несприятливих умовах навколишнього середовища [7-12].

Формування біоплівки є складним процесом, який включає в себе декілька етапів [7-12]. Протягом усього процесу формування біоплівки різні фактори навколишнього середовища (тип поверхні, фізичні обмеження, наявність поживних речовин, масоперенос і т.д.) будуть мати вплив на будову біоплівки і структурування мікробних популяцій, які її складають. Основні три етапи формування біоплівки на даний час детально вивчені. На першому етапі, який відповідає періоду адгезії, бактерії пристосовуються до нових умов. Цей процес початкового утворення біоплівки може бути описаний як послідовність з п'яти етапів (рисунок 1.3): кондиціонування, транспорту, оборотної адгезії, ко-адгезії чи ко-агрегації, незворотного прикріплення.

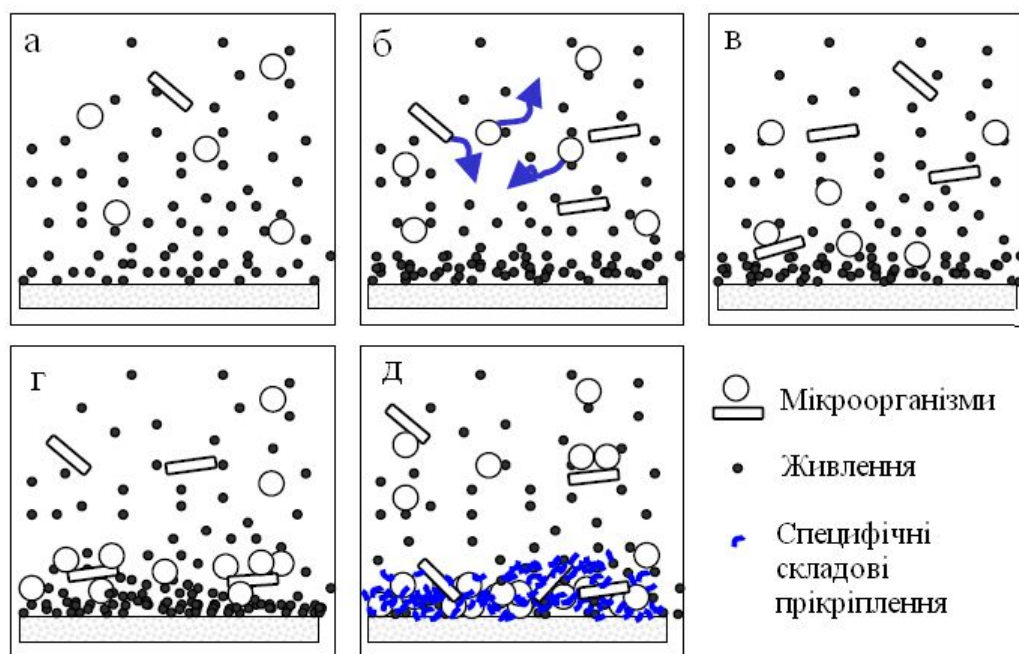


Рисунок 1.3 – Схематичне зображення послідовних стадій утворення біоплівки на першому етапі: а – кондиціонування, б – транспорт, в – оборотна адгезія, г – ко-адгезія чи ко-агрегація, д – незворотне прикріплення.

Другим етапом утворення біоплівки є стадія активного будівництва одночасно з виробництвом полімерів. Темп зростання залишається постійним при постійному зростанні товщини біоплівки. На третьому етапі товщина біоплівки сягає плато і явища зростання, обумовленого доступом до субстрату, компенсується явищами спаду (ендогенне дихання) і відмирання [7-12].

Швидкість масопереносу через біоплівку може контролювати загальну швидкість процесу деградації субстрату, вона залежить від режиму течії субстрату і властивостей біоплівки. Збільшення навантаження по субстрату призводить до збільшення кількості біоплівки до граничного значення. Швидкість дифузійного транспорту субстрату, поживних речовин і газів визначається фізіологією популяцій на різних глибинах товщини біоплівки. Таким чином, дифузія цих речовин через біоплівку може контролювати зростання мікроорганізмів, що знаходяться глибоко в біоплівці. Здатність до очищення конкретною популяцією залежить від концентрації біомаси в біоплівці. У стані рівноваги максимальна щільність біомаси є функцією від концентрації лімітуючого субстрату, який в даний час присутній у стічній воді. Таким чином, різні мікробні популяції можуть виникнути в результаті різного складу субстрату. Градієнт концентрацій, викликаний дифузійним опором, визначає розподіл організмів по товщині біоплівки. Ступінь змішання, яка відповідає турбулентності в безпосередній близькості від біоплівки, стає контролюючим елементом на цьому етапі, оскільки вона безпосередньо впливає на товщину застійної зони. Гідродинамічна обстановка у біофільтрі грає важливу роль в формуванні структури біоплівки. При ламінарному режимі утворюється умовно анізотропна біоплівка. Під потужним однонапрямленим гідродинамічним напруженням клітинні агрегати протягуються вздовж напрямку потоку з формуванням «стрічок», які одним кінцем кріпляться до поверхні, а іншим можуть вільно коливатися в потоці. Гідродинаміка впливає на контакт мікроорганізмів з

носієм, місцем розвитку біоплівки, а також на фізичні властивості біоплівки, такі, як щільність і міцність зчеплення з носієм. Біоплівки, зростаючі під сильними гідродинамічними навантаженнями, тонше і щільніше, ніж ті, які піддаються меншим гідродинамічним навантаженням [7,9].

1.3 Класифікація біоенергетичних установок

Анаеробний процес проходить в біоенергетичних установках (БЕУ), які є складною системою технологічних процесів як фізико-хімічної, так і біологічної природи (процеси, пов'язані з життєдіяльністю мікроорганізмів). Постійний прогрес технології анаеробного розкладу приводить до розвитку нових технічних рішень в цій сфері, зокрема, одноємнісні типи біореакторів замінюють на багатоемнісні, одностадійні схеми процесу — на двостадійні, поряд із технологічними схемами з високою одиничною потужністю застосовують модульні установки тощо. Швидкий прогрес технології вимагає аналізу і узагальнення наявних знань про процес, виконання класифікації для системного підходу в подальших дослідженнях. БЕУ поділяють за декількома основними ознаками [1]. Можлива класифікація БЕУ приведена на рисунку 1.4., де зеленим кольором відмічені параметри обраної у роботі установки.

Основним технічним елементом (вузлом) БЕУ є біореактор, тому основні технічні відмінності між ними передовсім впливають на технічні рішення, застосовані у побудові біореактора і навпаки. Отже, розглянемо основні типи біореакторів, які використовуються для анаеробної переробки органічних відходів [1].

1.4 Конструктивні особливості анаеробних біореакторів

1.4.1 Основні типи конструкцій анаеробних біореакторів

Конструктивні особливості анаеробних біореакторів обумовлені видом та обсягами відходів, що переробляються, необхідним ступенем деградації, місцем анаеробного біофільтра у технологічній схемі очищення.

Найбільш загальноприйнята класифікація анаеробних реакторів заснована на формі макроструктур метаногенів біомаси в них.

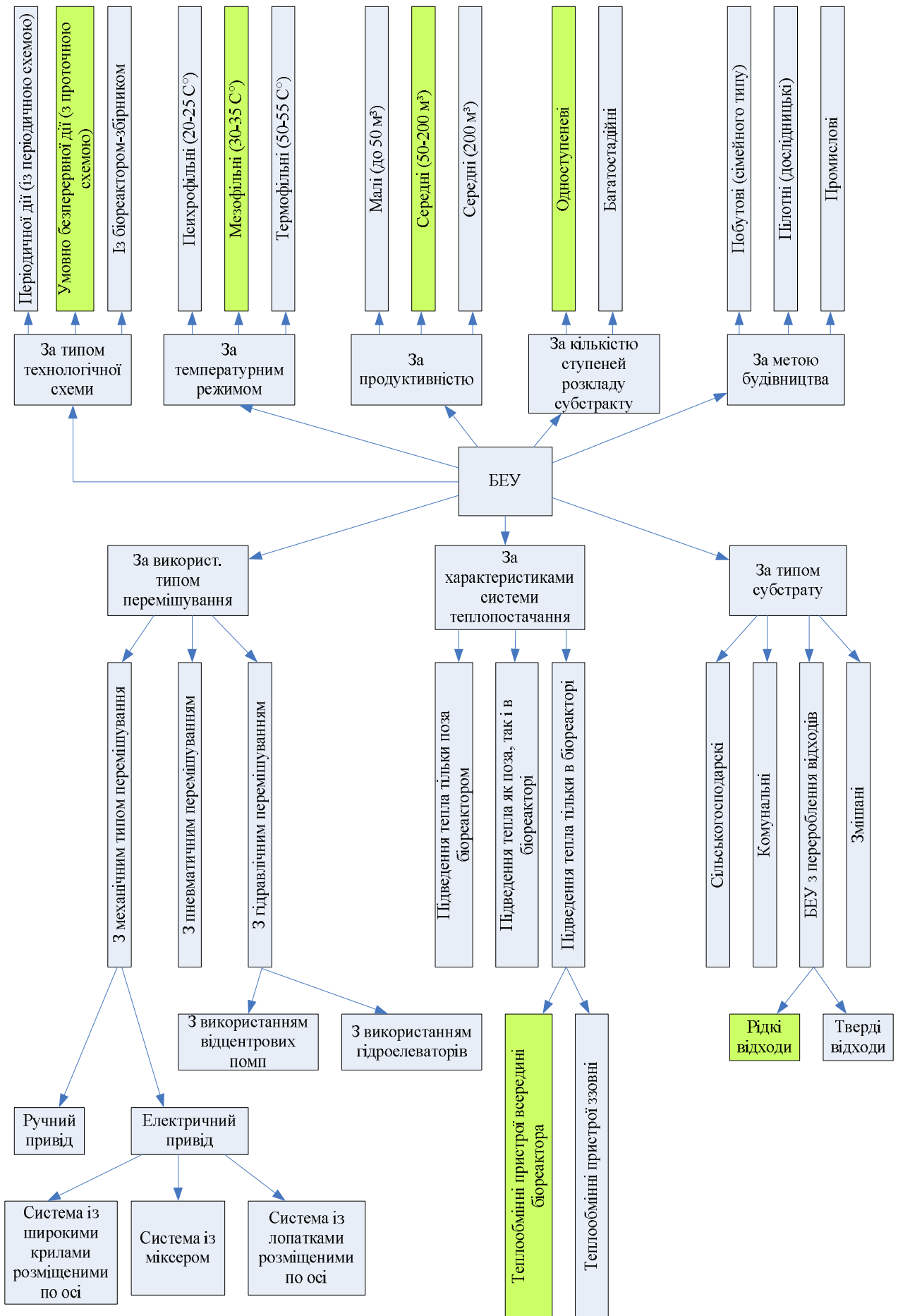


Рисунок 1.4 – Класифікація БЕУ

За цим принципом всі конструкції можна розділити на реактори з взважено-седиментованою біомасою (мулом) і прикріпленою біомасою (біоплівкою). Прикладом першого типу реакторів є традиційний метантенк, анаеробна лагуна, контактний реактор, UASB - реактор з висхідним потоком рідини через шар анаеробного мулу, EGSB - реактор з розширеним шаром гранульованого мулу, перегородковий реактор (ABR). До другого типу відносяться реактори з низхідним потоком (DSFF-реактор), реактор з псевдозрідженим шаром (AFB), біологічні фільтри тощо.

Ряд конструкцій – анаеробний біофільтр з висхідним потоком (AF) та гібридний реактор (AF+UASB) – поєднують у собі елементи обох типів реакторів [9].

Також автори [9] розглядають три покоління у розвитку конструкцій анаеробних біореакторів. Перше покоління включає в себе апарати, в яких біомаса суспензована, самими примітивними з яких є септики, реактори Imhoff, анаеробні лагуни. Введення перемішування призвело до створення конструкцій реакторів з безперервним перемішуванням. Їх основне застосування полягає в обробці осаду, отриманого від станцій аеробного очищення активним мулом [9].

Анаеробна лагуна (рисунок 1.5) (Anaerobic lagoon) – один з найпростіших анаеробних біореакторів, процес деструкції забруднень відбувається з порівняно низькою швидкістю, потік субстрату контактує із гранулами біомаси, що осідають на дні біореактора. Придатні для переробки відходів із навантаженням від 0,1 до 2 кг_{ХСК}/(м³добу). Конструкція відрізняється простотою і економічністю, придатністю до переробки різних видів відходів, в тому числі і висококонцентрованих. Завдяки великому об'єму біореактора незначні кількості інгібіторів розчиняються, не справляючи значного впливу на життєдіяльність мікрофлори. Разом з тим,

значні обсяги біореактора потребують великих площ для розміщення, процес мало піддається контролю і не відрізняється інтенсивністю [3].

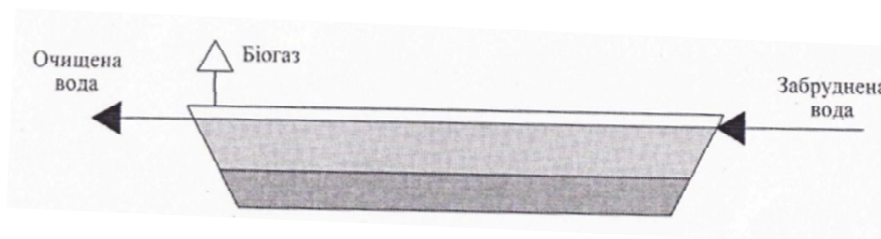


Рисунок 1.5 – Анаеробна лагуна

Перше удосконалення подібних реакторів полягало у введенні декантатора на виході з реактора, а також у рециркуляції біомаси. Час гідравлічного перебування складає близько від 5 до 10 днів. Застосування цієї технології особливо бажано, коли стічна вода містять тверді частинки, які важко перетравлюються і легко осаджуються [9].

Традиційний метантенк. Вживані протягом тривалого часу конструкції метантенків являють собою залізобетонні або сталеві вертикальні резервуари циліндричної форми з жорстким перекриттям і конічним або плоским днищем (рисунок 1.6).

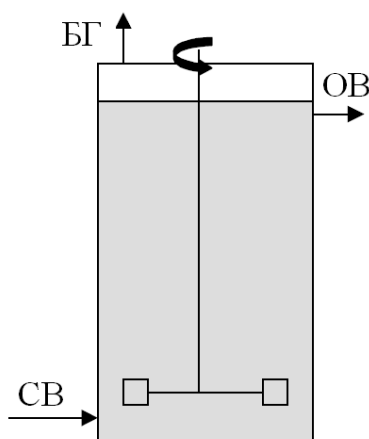


Рисунок 1.6 – Метантенк з механічним перемішуючим пристроєм: СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води; БГ – вихід біогазу

Резервуари забезпечуються різними системами обігріву та перемішування і системою відведення, збору і утилізації біогазу. Для запобігання кіркоутворення застосовують резервуари з вузькою горловиною і невеликою площею поверхні зброджуваного осаду, що дозволяє підвищити інтенсивність газовиділення. Як варіанти циліндрових метантенків в різні роки розроблялися конструкції метантенків з рухомим куполом, наприклад, метантенки з плаваючим перекриттям і метантенки-газгольдери. Проте, ці споруди не отримали широкого поширення. Для поєднання процесів зброджування і ущільнення в одній споруді розроблені спеціальні конструкції метантенків-ущільнювачів. Корпуси метантенків виконані з залізобетону із задалегідь напруженою арматурою. Найкращі показники досягнуті в метантенках яйцевидної форми, що забезпечує мінімальні витрати залізобетону і мінімальні тепловтрати. Крім того, така форма метантенка перешкоджає накопиченню піску та утворенню кірки [9].

Контактний реактор (Anaerobic Contact Reactor) представлений на рисунку 1.7. Процеси, що відбуваються у контактному реакторі значною мірою відбуваються завдяки наявності активного мулу. Контактний реактор встановлюють разом із відстійником, куди направляється відпрацьована біомаса. У реакторі встановлюють систему дегазації, яка видаляє утворені гази, попереджаючи винос ними флокул активного мулу. Контактні реактори відрізняються високою концентрацією активного мулу, і, відповідно, високою швидкістю переробки та коротким часом перебування маси у реакторі. Реактори контактного принципу дії призначені для переробки стічної води, яка має здатність до розшарування концентрацією від 4 до 30 г/л. Перевагами такого типу реакторів є використання стандартного обладнання, достатньо висока якість переробки, можливість успішного керування процесом. Недоліками можна вважати рівномірний розподіл

інгібіторів по всьому об'єму реактора, порівняно невисоку концентрацію стічної води, придатної до переробки [3].

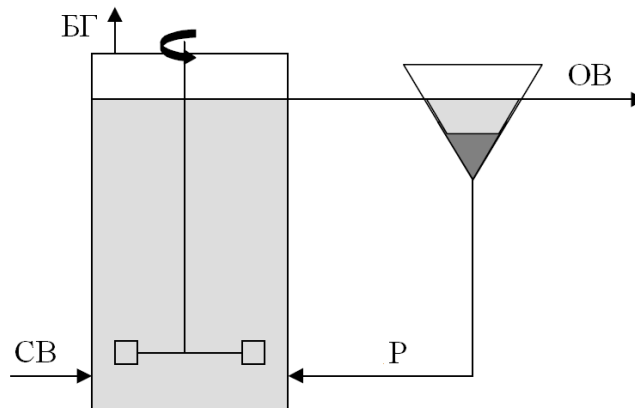


Рисунок 1.7 – Контактний реактор: СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води; БГ – вихід біогазу; Р – рециркуляція

Перегородчастий реактор (рисунок 1.8) (Buffled Reactor). Ця конструкція відрізняється простотою і широкими можливостями вдосконалення, найчастіше, це впровадження різного типу завантажувальних, теплообмінних пристроїв та елементів для виведення біогазу з усього об'єму апарата [9].

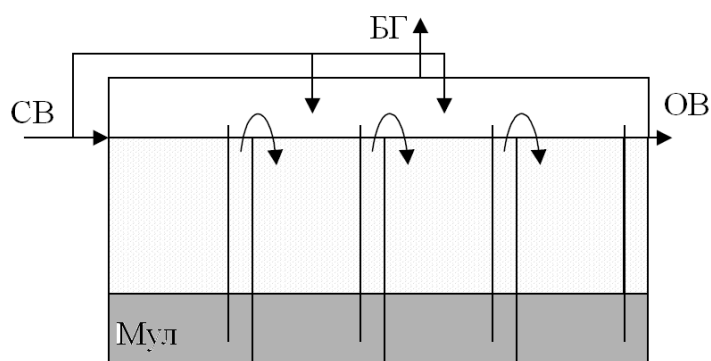


Рисунок 1.8 – Перегородчастий реактор: СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води; БГ – вихід біогазу

До біореактора постійно подається стічна вода, при чому кожна нова порція витісняє попередню. Потік поступово проходить крізь так звані мулові камери у строго ламінарному режимі, залишаючи шар активного мулу на дні, газ виводиться із верхніх газових секцій. Камера розташовується під певним невеликим кутом для забезпечення самовільного току.

У другому поколінні реакторів використовується збереження біомаси всередині реактора без необхідності рециркуляції. Можна навести приклад анаеробного фільтра, який є реактором, заповненим природним носієм (гравієм) або синтетичним (кілець ПВХ і т.п.), завантаження може бути упорядкованим або ж насипний. Обмеження цих методів в основному пов'язано з наявністю зважених часток у стічній воді, яка підлягає очистці, що викликають засмічення завантаження. З іншого боку, процеси із закріпленою біомасою загалом мають кращу резистивність до токсичних стоків і вони швидко адаптуються до зміни складу харчування [9].

Отже, сутністю анаеробного біофільтра та головною відмінністю його від інших анаеробних біореакторів є наявність завантаження з інертного носія, розміщеного у біофільтрі без можливості виносу його потоком рідини, що протікає. На носієві утворюється біоплівка, з якою контактує субстрат. Анаеробні біофільтри класифікують за напрямом потоку субстрату, конструкцією завантаження та матеріалом носія. Організація руху рідини в анаеробному фільтрі визначає не тільки конструктивне оформлення установки, а і кількість та активність біомаси, якість та швидкість обробки, обсяги біогазу, що виділяється. Найчастіше застосовують анаеробні фільтри із низхідним та висхідним потоками, їх схеми показано на рисунку 1.9.

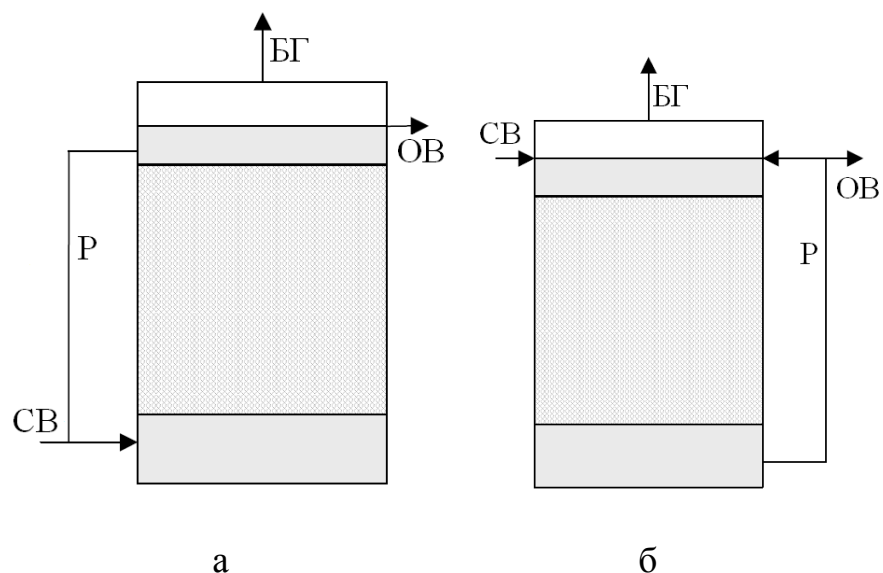


Рисунок 1.9 – Анаеробні фільтри: а – із низхідним потоком; б – із висхідним потоком; СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води; БГ – вихід біогазу; Р – рециркуляція

Анаеробні фільтри з низхідним потоком та нерухомо закріпленою біоплівкою DSFF (Downflow Stationary Fixed Film reactor) представлено на рисунку 1.9, а. Стічна вода подається в верхню частину реактора і, протікаючи крізь шар завантаження, видаляються знизу. До переваг даної конструкції можна віднести простоту, оскільки правильно розташований реактор не потребуватиме застосування насосного обладнання. Перемішуванню біомаси в реакторі сприятимуть два зустрічні потоки: потік стічної води згори донизу і бульбашки біогазу, що піднімаються вгору. Характерною рисою таких фільтрів є присутність біомаси, переважно, у формі біоплівки, тому важливим аспектом проектування анаеробних фільтрів із низхідним потоком є вибір носія із потрібними поверхневими властивостями. Найчастіше застосовують м'які матеріали із високою внутрішньою пористістю не менше 200 м² на один кубічний метр об'єму завантаження. Слід зазначити, що вихід біогазу та його якість можуть бути дещо нижчими у порівнянні із іншими анаеробними біореакторами, оскільки

виведення газу ускладнюється формою завантаження і зустрічним потоком рідини, а час перебування газу виявляється дещо тривалішим.

Анаеробні фільтри з висхідним потоком АФ (Anaerobic Filter). Принципову схему анаеробного фільтра із висхідним потоком зображено на рисунку 1.9,б. Стічна вода поступає в нижню частину реактора і піднімається вгору, біогаз виводиться з верхньої частини реактора. Фільтри такої конструкції відрізняються повнотою використання поверхні носія. Крім того, біомаса присутня не тільки у вигляді біоплівки, а і у флокулах та гранулах [9]. Циркуляція рідини за рахунок висхідних потоків забезпечує рівномірність розподілу біомаси і не допускає виникнення застійних зон або областей із підвищеним вмістом кислот. Потік також перешкоджає заростанню дна анаеробного фільтра та його засміченню [9].

Для запобігання накопиченню мулу всередині реактора ван ден Бергом і Ленцем був розроблений трубчастий реактор із закріпленою плівкою, який представляє собою біофільтр із площиним завантаженням. Реактор може бути з висхідним або з низхідним потоком. Носій, який може бути використаний, являє собою труби або пластини, розташовані таким чином, щоб створювати вертикальні канали. Застосовуване навантаження складає до $30 \text{ кгХСК}/(\text{м}^3 \text{сут})$. Така форма завантаження, до того ж, сприятиме більш повному виведенню біогазу з об'єму анаеробного фільтра [9]. Використання анаеробних біофільтрів особливо ефективно при очищенні стічної води, що містить ліпофільні речовини (жири), такі біореактори підходять для роботи з різкими коливаннями концентрації забруднюючих речовин у стічній воді та найчастіше використовуються при очищенні стічної води молочної, текстильної, м'ясопереробної промисловостей [2].

Інший реактор другого покоління, розроблений групою голландців під керівництвом Леттінга принцип роботи якого заснований на самоімобілізації біомаси у вигляді гранул (гранульований мул) з хорошими

декантаційними характеристиками і високою метаногенною активністю. [9]. Це апарати з висхідним потоком рідини зі зваженим гранульованим шаром мулу "UASB" (Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor) – реактор із висхідним потоком рідини крізь шар активного анаеробного мулу (рисунок 1.10).

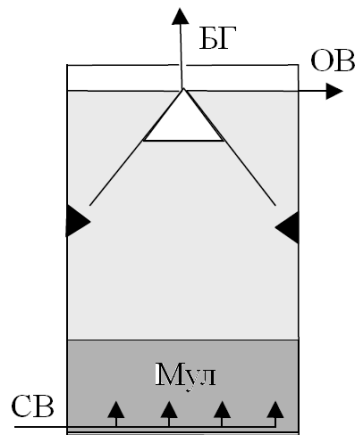


Рисунок 1.10 – Схема UASB-реактора: СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води; БГ – вихід біогазу

Оскільки реактор не вимагає внутрішнього заповнення для закріплення біомаси, це економічно привабливо, але характеристики його роботи залежать від грануляції біомаси. Крім того, UASB-реактор має у своїй верхній частині систему розділу газ-рідина-тверде тіло, яка запобігає або обмежує винесення зважених часток і сприяє виведенню газу і декантації мулу. Розділення газу, очищеної води та гранульованої біомаси здійснюється за допомогою спеціального мулогазовідділюючого пристрою. Утримання гранульованої біомаси здійснюється також завдяки її високій седиментаційній здатності. UASB-реактори виявляють значну чутливість до складу стічної води, особливо наявності в ній твердих речовин та інгібіторів, проте, є порівняно компактними та простими, забезпечують хороші умови перемішування, високу якість переробки. Завдяки зазначеним перевагам UASB-реактори є найбільш поширеними. Характерною особливістю цієї конструкції реактора є наявність щільного шару мулу внизу реактора та зони

з розрідженими концентраціями біомаси [9]. Застосовувані органічні навантаження можуть досягати значення до $40 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3\text{сут})$, для часу гідравлічного перебування порядку декількох годин залежно від характеру стоків, що підлягають очищенню. Так само, як анаеробні фільтри, UASB-реактори отримали широке поширення в промисловості на рівні очищення агро-харчових стоків. Такі біореактори показують високу продуктивність при вмісті у воді речовин, що добре розкладаються біологічним шляхом, окрім ліпофільних речовин, та застосовуються при обробці стоків індустрії напоїв, целюлозно-папірової промисловості тощо [2].

Тим не менш, явище грануляції мулу не повністю вивчено, і робить процес у UASB-реакторах важким у застосуванні, коли виробництво не має відповідне джерелом посівної культури, наприклад мулу з іншого працюючого UASB-реактора. Однак, деякі стоки легко привести до утворення гранульованого мулу, такі, як стоки цукрової промисловості. В даний час дослідження, засновані на розумінні механізмів грануляції були здійснені, але так як проблема є надзвичайно складною, на сьогоднішній день немає загальної теорії грануляції, а наявні дані не завжди добре корелюють між собою. Виробництво гранульованого мулу є здебільшого емпіричним ноу-хау, ніж істинно науковим підходом: мало хто може тепер похвалитися, що має можливість виробляти гранульований мул на замовлення [9].

Також розроблені гібридні конструкції, які об'єднують, наприклад, відповідні переваги UASB-реактора і анаеробного фільтра: реактор UBF (Upflow Bed-Filter) [7]. Нижня частина складається з гранульованого шару мулу і верхня частина містить твердий носій. Така конструкція дозволяє більш раціонально використовувати обсяг реактора, досягти високої концентрації біомаси, хороших умов перемішування, високу продуктивність, компактність та простоту конструкції. Верхня частина реактора, зазвичай, 25%-30 % об'єму, заповнена інертним носієм, закріпленим, або таким, що

плаває. Таким чином вдається уникнути характерного для анаеробного фільтра засмічення нижніх шарів носія та зменшити його кількість.

Процеси третього покоління включають зрідження мікробного шару на синтетичному або природному носії. Реактор з псевдозрідженим шаром характеризується ступенем псевдозрідження більше 50%, а реактори з розширеним шаром мулу - ступенем псевдозрідження близько 20%. Площа контакту носія дуже велика (більше $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$), при проведенні процесу відбувається активне перемішування, що усуває проблеми підведення субстрату. Час гідравлічного перебування становить менше 12 годин. Однак, ці реактори споживають більше енергії і технічно перевершують попереднє покоління, тобто мають більш складну конструкцію. Застосовувані органічні навантаження можуть перевищувати $40 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3 \text{сут})$ [13].

Біореактор із розширеним і зваженим шаром активного мулу (рисунок 1.11) (Expanded G Sludge Bed Reactor, EGSB). Принциповою відмінністю даного типу реакторів від UASB-реактора є більша швидкість висхідного потоку рідини за рахунок рециркуляції для інтенсифікації масообміну між гранулами мулу та стічної водою. За поширенням ця високоінтенсивна конструкція поступається лише UASB-реакторам.

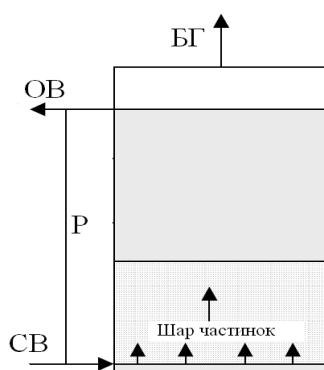


Рисунок 1.11 – Біореактор із розширеним шаром активного мулу: СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води; БГ – вихід біогазу; Р – рециркуляція

Такі реактори придатні для переробки низькоконцентрованих стоків у широкому діапазоні температур [3].

Біореактор із псевдозрідженою біомасою (рисунок 1.12) (Fluidized Bed Reactor) – один із найбільш продуктивних біореакторів із закріпленою мікрофлорою за рахунок більш повного контакту забруднень із біомасою.

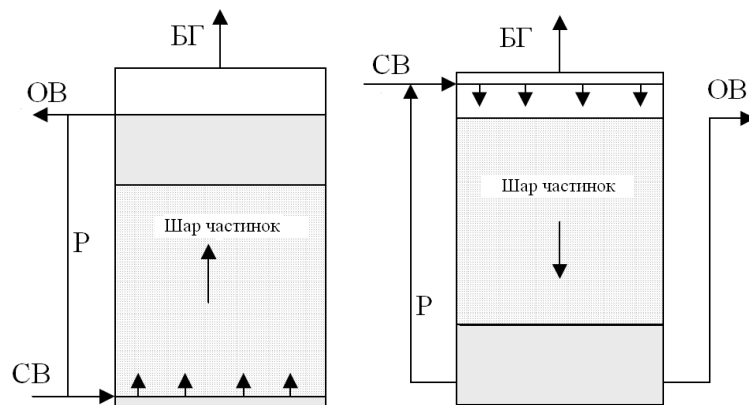


Рисунок 1.12 – Реактор з псевдозрідженим носієм: а – з висхідним потоком; б – з нисхідним потоком; СВ – вхід стічної води; ОВ – вихід очищеної води; БГ – вихід біогазу; Р – рециркуляція

Псевдозрідження відбувається за рахунок висхідного потоку рідини та бульбашок біогазу, що виділяється. При цьому значно збільшується поверхня контакту між активною біомасою та необробленими відходами. В таких біореакторах обробляють низькоконцентровані стоки із розчиненими або дрібнодисперсними забрудненнями. Однак, підтримка псевдозрідженого шару потребує значних енерговитрат [10].

Різноманітність складу та властивостей стічної води не дозволяють однозначно якісно та кількісно порівняти різні конструкції анаеробних біореакторів. В залежності від характеристик стоку та місцевих кліматичних та соціально-економічних умов оптимальною може стати будь-яка конструкція з вищеписаних систем. [10]. Найважливіші параметри роботи основних конструкцій анаеробних реакторів наведені у таблиці 1.2. Таблиця складена за даними [9-10].

Таблиця 1.2–Характеристики основних типів анаеробних біореакторів

Покоління	Назва біореактора	Умовне позначення	Продуктивність по ХСК, кг _{ХСК} /((м ³ сут)	Мінімальне навантаження по ХСК, кг _{ХСК} /м ³	Час гідравлічного перебування, год	Ефективність очищення за ХСК, %
	2	3	4	5	6	7
I	Метантенк	-	0,5-5	10	240-360	60-80
	Контактний анаеробний реактор	ACR	1-8	2	24-120	70-95
	Перегородчастий анаеробний реактор	ABR	1-7	2,5	48-72	75-90
II	Анаеробний біофільтр з низхідним потоком	DSFF	3-15	1	12-90	80-95
	Анаеробний біофільтр з висхідним потоком	AF	5-20	0,2	10-85	80-95
	Анаеробний біореактор з висхідним потоком рідини зі зваженим шаром мулу	UASB	2-30	0,3	2-72	80-95

продовження таблиці 1.3

	2	3	4	5	6	7
Ш	Анаероб-ний біореактор з розширеним шаром активного мулу	ESGB	8-40	0,3	1-24	70-85
	Анаероб-ний біореактор з псевдо зрідженим шаром активного мулу	FBR	8-70	0,3	1-4	80-95

На рисунку 1.13 представлено порівняння основних типів анаеробних біореакторів за питомою продуктивністю.

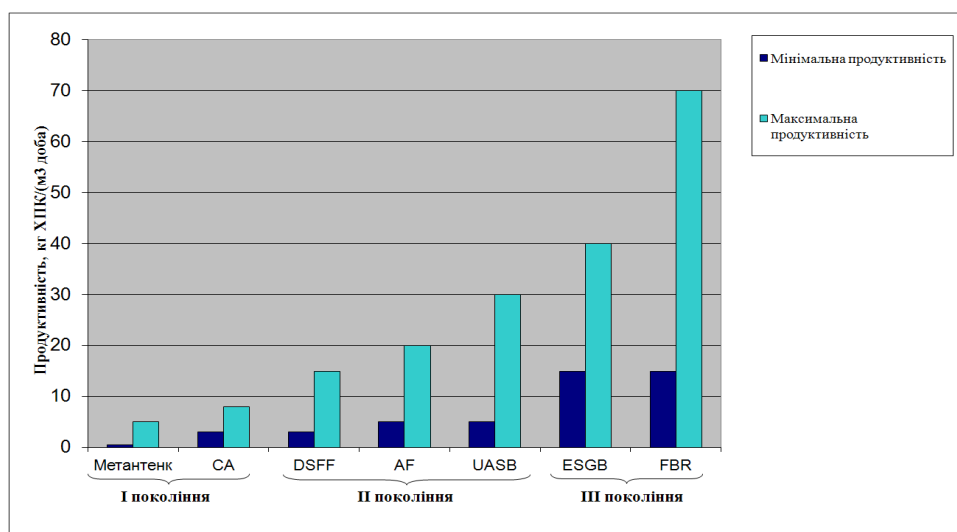


Рисунок 1.13 – Порівняння основних типів анаеробних біореакторів за питомою продуктивністю

1.4.2 Особливості носіїв мікрофлори

Як показано в [6, 7], значний вплив на продуктивність реактора має вибір матеріалу і конфігурації носія мікрофлори. Так, наприклад, використання в якості носія синтетичної бахромистої тканини дозволяє в 4 рази підвищити продуктивність реактора по біогазу в порівнянні з носієм з гранул активованого вугілля [11]. Для утримання біомаси в біофільтрі використовують так звані носії, які виготовляються з різних матеріалів. До матеріалу носія пред'являються такі вимоги [12]:

- Біосумісність з мікроорганізмами біоплівки, не викликаючи інгібування процесів їх росту і метаболізму;
- Відсутність взаємодії з субстратом, продуктами життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу, а так же хімічна стійкість до тривалого впливу агресивного середовища;
- Висока пористість, питома поверхня і шорсткість, що забезпечують найкращу адсорбції клітин активного мулу, при чому розмір пор повинен перевищувати середній розмір мікроорганізмів, тобто 1-4мкм, так як при менших значеннях розміру пір біоплівка утворюється суто на поверхні носія, роблячи непотрібним його мікропористу структуру. Необхідне значення пористості носія для зниження ризику замулювання має бути вище 90% [12];
- Механічна міцність, що забезпечує надійність конструкції при збільшенні кількості біомаси на носії.

В якості матеріалу носія може використовуватися металева сітка, капронові волокна, пенька, скловолокно, активоване вугілля та інші матеріали, проте останні дослідження показують перспективність використання полімерних матеріалів в якості носія [11]. В сучасних біофільтрах широке використання отримали носії, виготовлені з пластичних мас у вигляді кілець, волокон (так звана неупорядковане завантаження),

плоских і гофрованих листів, труб, сіток (орієнтоване завантаження) та ін. Хороші результати показують носії з полістиролу, полівінілхлориду. На малюнку 1.14 представлені найбільш поширені типи носіїв мікрофлори в анаеробних біофільтрах.

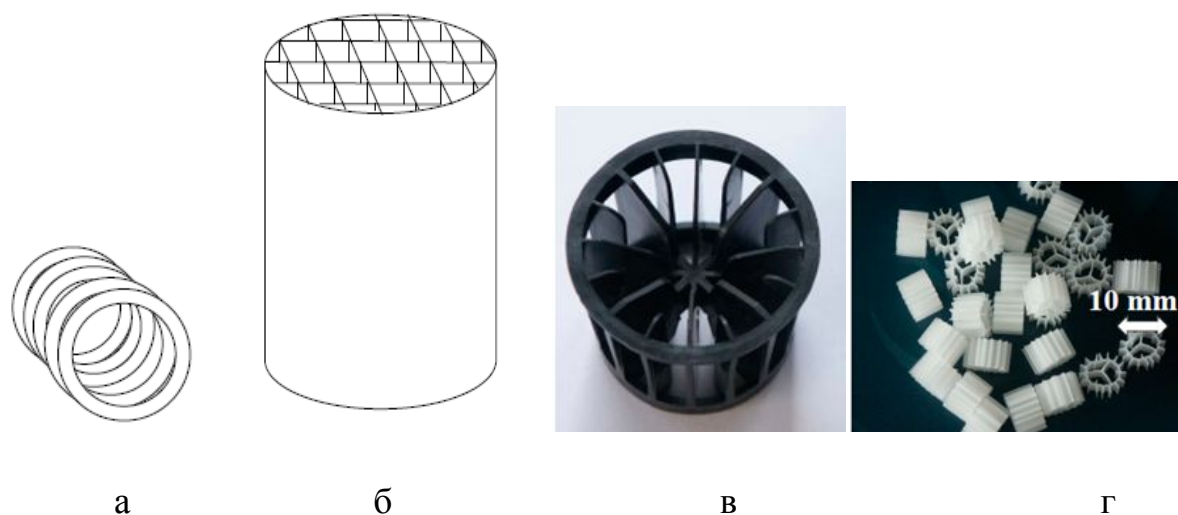


Рисунок 1.14 – Приклади завантажень, які використовуються у якості носіїв мікрофлори: а – Floccor ®; б – Cloisonyle ®; в – Bioflow 30, Raushert ®; Bioflow 9, Raushert ®

Гідродинамічні і теплові режими роботи біофільтрів в значній мірі впливають на ефективність очищення води і на продуктивність анаеробних біофільтрів по біогазу. Так, при мезофільному процесі перепад температур в біофільтрі не може перевищувати 1°C . Враховуючи, що біодеградація органічних забруднень води протікає зі значним виділенням теплової енергії, забезпечення ефективного теплообміну в апаратах з неупорядкованим завантаженням проблематично. Використання орієнтованого завантаження у вигляді плоских аркушів дозволяє регулювати гідродинамічні і теплові режими роботи біофільтра.

1.4.3 Вибір дослідної конструкції біофільтра

Таким чином, для вирішення задач очищення промислової стічної води найбільш поширене використання реакторів типів: перегородчастого, UASB, ESGB, анаеробного біофільтра, реактора з псевдо зрідженим шаром.

Доцільно використання анаеробного біофільтра з висхідним потоком рідини з площинним орієнтованим завантаженням, так як:

1. Площинне орієнтоване завантаження забезпечує рівномірне розподілення стоків і в наслідок цього більш повне використання корисного об'єму реактора.

2. Використання площинного завантаження дозволяє організувати практично рівноцінні умови масообміну по всій поверхні біоплівки.

3. Така конструкція сприяє якісному закріпленню мікрофлори на поверхні носія, суспендовані клітини знаходяться у реакторі у незначній кількості і, як наслідок, зменшується винесення активної біомаси з реактора.

4. Даний тип реакторів поступає ESGB-реакторам, а також реакторам з псевдо зрідженим шаром мулу за рядом показників, а саме:

- продуктивності;
- гранично допустимій концентрації ХСК у стоках;
- мінімальному часу перебування;
- концентрації біомаси.

Однак, аналіз показує, що для обробки стоків підприємства з виробництва кормових дріжджів з утворенням $4000\text{ м}^3/\text{доба}$ стічної води забрудненістю $6,5\text{ кг}_{\text{ХСК}}/(\text{м}^3 \text{ доба})$ при відсутності жорстких обмежень за часом обробки, використання конструкції анаеробного біофільтра є економічно вигідним за рахунок зниження вартості реактора та експлуатаційних затрат

На основі проведеного аналізу запропонована конструкція анаеробного біофільтра. Принципова схема біофільтра зображена на рисунку 1.15.

Принцип роботи пристрою наступний: стічна вода поперемінно протікає по відсікам реактора, при контакті з біоплівкою, що закріплена на нерухомих носіях, органічні речовини, що містяться у стічній воді, піддаються анаеробній деградації. При проходженні робочих камер стічна вода має висхідний потік, що сприяє більш інтенсивному відриву газових бульбашок від матеріалу носія. У перетоках, що являють собою теплообмінні секції, температура стічної води доводиться до температури процесу. Утворений біогаз відводиться за допомогою газовідвідних пристроїв 6 як показано на зображенні (рисунок 1.13), які також являють собою бризкоуловлювачі для відділення крапель рідини, що захвачені потоком біогазу. При накопиченні у нижній частині робочих камер відпрацьованого активного мулу, він відводиться через штуцери 7.

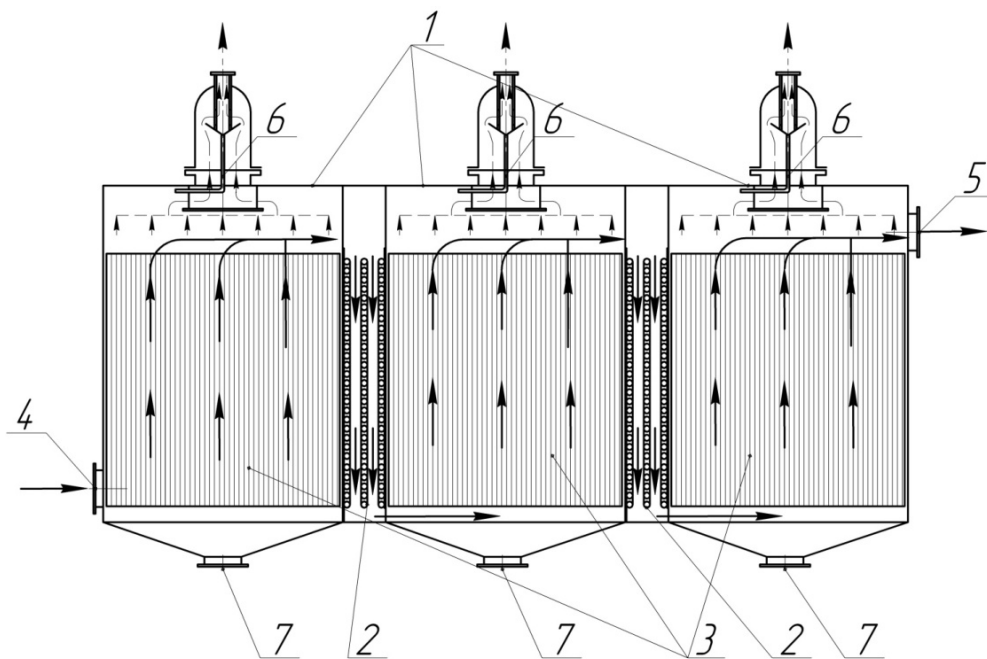


Рисунок 1.15 - Принципова схема біофільтра: 1 – секції реактора; 2 – перетоки; 3 – завантаження; 4 – вхідний штуцер; 5 – вихідний штуцер; 6 – газовідділюючий пристрій; 7 – штуцер для виведення відпрацьованого мулу

Розділення біофільтра на декілька секцій дозволяє розподілити різні бактеріальні популяції по довжині реактора. Реакційний простір може згодом розглядатися як 2-х ступінчастий анаеробний процес з ацетогенезом в

першій секції і метаногенезом в кінці реактора. Така організація реактора дозволяє активній біомасі краще протистояти залповим навантаженням.

Ефективна робота запропонованого апарата залежить від вибору конструктивних та технологічних параметрів роботи біофільтра. В цьому аспекті особливу увагу слід приділити процесам масообміну між субстратом і біоплівкою, який напряду впливає на ефективність очищення стічної води, і створення гідродинамічних умов, які забезпечуватимуть інтенсивний масоперенос. Складність фізико-хімічних процесів, які протікають в біофільтрі, визначають необхідність побудови і дослідження математичної моделі процесів у біофільтрі.

1.5 Огляд математичних моделей процесу синтезу біогазу

Анаеробне збродження в біофільтрах (біореакторах з мікрофлорою, що закріплена на нерухомих носіях), супроводжується фізичними, біохімічними процесами, які включають явища переносу речовини в рідкій фазі і на границях рідка фаза – тверда фаза, тобто на макрорівні, а також процеси перетворення речовини на мікрорівні в результаті життєдіяльності мікроорганізмів. Процеси перетворення, в свою чергу, супроводжуються біосинтезом проміжних та кінцевих продуктів розкладу органічного субстрату, в тому числі біогазу, і пов'язані з ростом і відмиранням мікроорганізмів.

Процеси, що протікають на мікрорівні, і процеси, які відбуваються на макрорівні пов'язані між собою механізмами транспортування субстрату до мікроорганізмів та відведенням продуктів їх життєдіяльності.

У роботі [13] прийнята математична модель масообміну в біофільтрі, яка базується на визначенні переносу речовини. Отримане узагальнене рівняння (1.1).

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = \text{div}(D \text{grad} C) - \text{div}(C \omega) - R(C). \quad (1.1)$$

Рівняння 1.1 враховує:

- швидкість зміни концентрації речовини C в часі і просторі (складова $\frac{\partial C}{\partial \tau}$);
- потік речовини за рахунок наявності гідродинамічного джерела (при цьому, в загальному випадку, вектор швидкості ω має компоненти по координатах - $\omega_x, \omega_y, \omega_z$) (складова $\text{div}(C \omega)$);
- потік речовини, викликаний наявністю градієнта концентрації, тобто молекулярною дифузиею (складова $\text{div}(D \text{grad} C)$);
- зміни концентрації речовини в середовищі, обумовленого процесом реакції (складова $R(C)$).

Модель (1.1) в цілому точно описує процеси масопереносу у анаеробному біофільтрі, однак вона не враховує такі чинники, як зміна концентрації активної біомаси у реакторі, зміна поверхні контакту субстрат-мул за рахунок утворення бульбашок біогазу, не враховуються фактори, що присутні при проведенні процесу в біофільтрі з закріпленою мікрофлорою у вигляді біоплівки.

У роботі [14] розглядається процес анаеробного очищення стічної води закріпленними мікроорганізмами. Основним процесом, що відбуваються в анаеробних біофільтрах, є реакційний процес анаеробної деструкції органічної речовини співтовариством специфічних мікроорганізмів. Швидкість цього процесу визначається законами хімічної та біохімічної кінетики, зокрема залежністю Моно, що визначає швидкість бактеріального росту залежно від концентрації субстрату [15]:

$$S = \frac{S_{\max} + Q_c}{K_{Qc} + Q_c}, \quad (1.2)$$

Де S – питома швидкість росту мікроорганізмів, год⁻¹; S_{\max} – максимальна швидкість росту мікроорганізмів; K_{Qc} – константа напівнасичення, рівна концентрації субстрату.

Концентрація субстрату, в свою чергу, визначається масообмінними процесами, які визначають швидкість перенесення компонентів субстрату і продуктів метаболізму з однієї фази в іншу через або поблизу поверхні розділу. Масообмінні процеси тісно пов'язані з гідродинамічними і тепловими процесами в області масопереносу. Таким чином, для ферментаторів анаеробного зброджування характерні всі відомі процеси, які можуть протікати тільки під дією певної сили, званої рушійною силою, яка визначається різницею концентрацій, тисків, швидкостей, температур, зовнішніх і внутрішніх силових полів.

Таким чином, для кожного конкретного процесу необхідно встановити відповідне йому рушійну силу, яка забезпечує необхідне масоперенесення.

Автори розглядають реактори з фіксованою у вигляді біоплівки мікрофлорою. Модель перенесення мас субстрату та продуктів метаболізму у біоплівці, що закріплена на нерухомому площинному носієві, показана на рисунку 1.16.

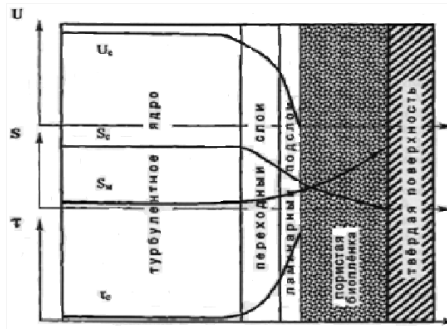


Рисунок 1.16–Модель перенесення мас субстрату та продуктів метаболізму: U_c –швидкість субстрату відносно твердої поверхні; S_c –концентрація субстрату; S_M – концентрація продуктів метаболізму; τ_c – дотичне напруження

Перенесення маси у цьому випадку може бути описане законом Фіка:

$$M = D \frac{dC}{dX}, \quad (1.3)$$

де M – кількість перенесеної маси речовини;

D – коефіцієнт дифузії;

$\frac{dC}{dX}$ – градієнт концентрацій вздовж вісі X .

Інтенсифікація масопереноса всередині біоплівки можлива за рахунок зміни концентрації субстрата поза біоплівки [14].

Автори [15] виділяють, що процес анаеробної ферментації поки не отримав точного математичного формулювання, хоча вже існує ряд залежностей, що описують кінетику процесу. Одне з найбільш відомих - рівняння Моно для стічної води і відходів тварин [15] - визначає значення питомої швидкості росту мікроорганізміві постійну напіврозпаду органіки в залежності від умов протікання процесу ферментації. Однак значення цих

параметрів можна визначити лише для однорідних субстратів, що ускладнює застосування такого роду рівнянь для моделювання складних (застосовуються при анаеробної ферментації) субстратів. З існуючих кінетичних рівнянь найбільшої уваги заслуговує кінетична залежність Конто, що описує процес анаеробної ферментації відходів тварин.

Автори [11,12,14] вказують на доцільність використання рівняння Конто, яке описує питому об'ємну швидкість виходу біогазу в залежності від найважливіших параметрів процесу анаеробної ферментації:

$$V = \frac{B_0 S}{T} \left(1 - \frac{k}{\mu T - 1 + k}\right); \quad (1.4)$$

де V – об'ємна швидкість виходу біогазу, $\text{м}^3 / (\text{м}^3 \text{доба})$; B_0 – граничний вихід біогазу з одиниці органічної речовини заданого складу, $\text{м}^3 / \text{кг}$; S – вихідна концентрація органічної речовини в субстраті, $\text{кг} / \text{м}^3$; T – час експозиції, доба; μ – максимальна питома швидкість росту мікроорганізмів в заданому процесі ферментації, доба^{-1} ; k – кінетичний параметр процесу.

Граничний вихід біогазу (B_0) залежить від виду субстрату, терміну зберігання відходів до ферментації; способу видалення та збору відходів; кількості сторонніх компонентів і т.п. [28].

Автори [10-12, 16] для опису кінетики росту мікробної популяції у процесі анаеробного зброджування використовують модель Моно, яка в основному вигляді записується як:

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\text{макс}} \frac{S}{S + K_S} X; \quad (1.5)$$

де X – концентрація біомаси, $\mu_{\text{макс}}$ – максимальна питома швидкість росту мікробної популяції, S – концентрація лімітуючого субстрату, K_S –

константа напівнасичення, яка відповідає концентрації субстрату, при якій питома швидкість росту мікробної популяції дорівнює половині від максимальної.

Також приводяться моделі росту мікробної популяції при інгібуванні росту інгібуючими факторами середовища, продуктами метаболізму, контамінуючими видами.

Автори [10] приділяють значну увагу вивченню структури біоплівки, яка раніше розглядалась як гомогенна система. Автори класифікують вже існуючі моделі реакторів на моделі реакторів ідеального змішання, аналітичні моделі біоплівок, моделі клітинних процесів. Для моделювання біоплівок пропонується багатофакторова модель, яка дозволяє встановити зв'язки між її елементами, контролювати динаміку системи, передбачити можливі схеми розвитку і т.д. Багатофакторова модель включає сукупність факторів, оточуюче середовище, організацію системи, опис системи. Розглядаються декілька платформ багатофакторового моделювання: CORMAS, Vacsim, SMA. Платформа CORMAS розглядає розвиток багатофакторової системи у зв'язку з природними ресурсами, включає в себе взаємовідносини між природною і соціальною динамікою. Модель Vacsim розглядає динаміку індивідцентричного розвитку популяції.

У авторів [10] розглядається математична модель синтезу біогазу у анаеробному біофільтрі з площинними носіями біоплівки. Схема розміщення носіїв показана на рисунку 1.17.

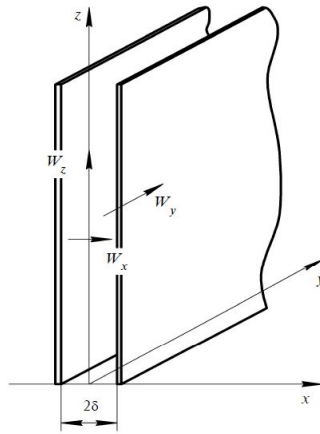


Рисунок 1.17 – Схема розміщення листів-носіїв

Початок координат поміщено у нижньому перерізі щілини, що відповідає початку руху рідини вздовж носіїв. Вісь z направлена вертикально вгору, відповідно до руху потоку, y - паралельно до твірних щілини, а вісь x - по нормалі до твірних. Середовище рухається вздовж пластин знизу до гори. При його контакті з мікроорганізмами, які у вигляді біоплівки іммобілізовані на листах, органічні речовини, які знаходяться в середовищі, піддаються деструкції з утворенням біогазу.

Процес деструкції органічних речовин і транспортування їх до мікроорганізмів описано рівнянням переносу маси для сталого режиму:

$$W_z \frac{dc_1}{dz} = D \frac{d^2c_1}{dx^2}, \quad (1.6)$$

де W_z – швидкість висхідного потоку стічної води у біофільтрі, c_1 – концентрація органічної речовини; D – коефіцієнт молекулярної дифузії, значення якого для рідин визначається температурою та концентрацією органічної речовини, яка в біоплівці досягає 10^{-9} - 10^{-10} м²/с. У біоплівці встановлюється баланс маси забруднень, переданих до неї в результаті молекулярної дифузії і витрачених під час біохімічної реакції. Швидкість біохімічного розкладу забруднень у біоплівці невелика і, як правило, є

лімітуючою стадією масопереносу забруднень з води, яка очищається, до біоплівки.

Математична модель розробляється для середовищ, в яких містяться різноманітні органічні сполуки, а отже, й біомаса матиме складну структуру, що змінюватиметься навіть по довжині каналу. Для опису процесу приросту біомаси і деструкції органічних забруднень використаємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned}\frac{dc_1}{d\tau} &= f_1(c_1, c_2); \\ \frac{dc_2}{d\tau} &= -f_1(c_1, c_2);\end{aligned}\tag{1.7}$$

де c_1, c_2 – концентрації відповідно забруднень (органічної речовини) і біомаси активного мулу; $f_1(c_1, c_2)$ – швидкість росту мікроорганізмів за моделлю М.Д. Ієрусалимського:

$$f_1(c_1, c_2) = \frac{\mu_m c_1 c_2}{(\bar{k} + c_1)(k + c_2)};\tag{1.8}$$

де \bar{k} і k – константи напівнасичення та інгібування, відповідно; μ_m – максимальна питома швидкість росту мікроорганізмів, які залежать від температури; різними авторами, залежно від роду субстрату, наведені значення від 0,25 до 0,45 діб⁻¹. Модель Ієрусалимського, обрана для характеристики швидкості росту біомаси, дає можливість врахувати одночасно і ріст лімітуючої фази, і вплив наявних інгібіторів процесу. Такий підхід є найбільш прийнятним при описі анаеробного зброджування, коли продукти метаболізму одних мікроорганізмів можуть як сприяти, так і перешкоджати росту інших наявних груп.

Швидкість утворення біогазу опишемо рівнянням:

$$\frac{dc_3}{d\tau} = f_2(c_1, c_2);\tag{1.9}$$

де c_3 – концентрація біогазу, що і утворюється; $f_2(c_1, c_2)$ – інтенсивність виділення біогазу. За кінетичною моделлю Конто, яка може бути використана для широкого класу органічних стоків, інтенсивність виділення біогазу при іммобілізації набирає такого вигляду:

$$f_2(c_1, c_2) = \frac{Vc_1}{\tau} \left(1 - \frac{k}{\mu_m \tau - 1 + k} \right); \quad (1.10)$$

де V — граничний вихід біогазу з одиниці органічної речовини; τ – час експозиції. Кінетичний параметр - константа напівнасичення - характеризує стабільність процесу і зростає при інігібуванні його.

1.6 Висновки

1. Створення нових і вдосконалення існуючих конструкцій біофільтрів в для очищення стічної води уповільнюється відсутністю даних щодо впливу розмірів каналів між носіями, витрати субстрату, тобто швидкості руху рідини, що подається на очищення, в каналах, а також недостатнім дослідженням процесів транспортування субстрату до біоплівки і біогазу у потік рідини.

2. Ступінь деградації забруднень та утвореного об'єму біогазу залежать від складу субстрату, умов протікання процесу. Метаногени виявляють значну чутливість до змін робочих параметрів, таких як зміна температури або швидкості подачі субстрату, тощо. Так як процес метаногенеза протікає у декілька стадій, доцільним є фізичне розділення груп мікроорганізмів, які відповідають за кожну з них, що призводить до використання секційної конструкції біофільтра, в кожній секції якого переважає один з процесів. Такий підхід дає додаткову перевагу, так як співвідношення CO_2 і CH_4 в біогазі з різних стадій зародження відрізняється, а секціонування процесу дозволяє зменшити витрати на очищення отриманого біогазу. Використання фіксованого у вигляді біоплівки активного мулу є більш бажаним, так як

прикріплена біомаса є на порядок більш активнішою, ніж суспендована, а також значно зменшується винос активної мікрофлори з реактора.

3. Утворення біоплівки є складним процесом, значну роль у якому грають характеристики стоків, що поступають на очищення, носія, на який закріплюються мікроорганізми, а також гідродинамічна обстановка у біофільтрі.

4. На основі проведеного аналізу запропонована конструкція анаеробного біофільтра з площинним завантаженням.

5. Складність фізико-хімічних процесів, які протікають в біофільтрі, визначають необхідність побудови і дослідження математичної моделі процесів у біофільтрі.

6. Практично відсутні теоретичні і експериментальні дані про механізми утворення біогазу на поверхні біоплівки у вигляді бульбашок та рух бульбашок біогазу у субстраті, як нерухомому, так і рухомому, що у свою чергу впливає на гідродинаміку руху рідини в біофільтрі.

1.7 Постановка задач дослідження

Задачі дослідження в даній роботі полягають у наступному:

1. Дослідження процесів гідродинаміки в анаеробному біофільтрі з площинним завантаженням з урахуванням утворення та відриву бульбашки біогазу на поверхні біоплівки та визначення факторів, які впливають на цей процес;

2. Числове дослідження впливу температури, швидкості рідини, параметрів субстрату та біомаси на радіус відриву бульбашки біогазу;

3. Створення ком'ютерної моделі анаеробного біофільтру;

4. Дослідження характеристик міцності та стійкості апарату та окремих його елементів.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗРОСТАННЯ ТА ВІДРИВУ БУЛЬБАШКИ БІОГАЗУ НА ПОВЕРХНІ БІОПЛІВКИ

2.1. Теоретичні дослідження

Сучасні дослідження процесів біосинтезу метану та їх практична реалізація показують, що в анаеробних біофільтрах інтенсивність газоутворення значно вища, ніж в біореакторах з вільно плаваючою метаногенною мікрофлорою. Іммобілізація метаногенної мікрофлори на носіях дозволяє збільшити їх концентрацію і сприяє інтенсифікації анаеробного зброджування. Іммобілізація у вигляді біоплівки на нерухомих носіях має ряд переваг в порівнянні з іншими способами утримання мікрофлори [17]. Разом з тим, для забезпечення стабільного і безперебійного транспорту субстрату до поверхні біоплівки і відведення біогазу, що утворився, в біофільтрі необхідно створити сприятливу гідродинамічну обстановку, що забезпечуватиме високі коефіцієнти масопереносу в приграничному шарі рідини біля поверхні біоплівки. Аналіз літературних джерел [7-13] показує, що утворення біогазу відбувається безперервно. Компоненти біогазу (метан, двоокис вуглецю, водень та інш.) мають досить обмежену розчинність в субстраті, тому біля поверхні плівки утворюється шар перенасиченої рідини і на центрах газоутворення відбувається зростання газових бульбашок, які мають форму, близьку до усіченої сфері. При досягненні газовими бульбашками певного радіуса (далі радіуса відриву), вони відриваються і спливають. Спливання відбувається біля поверхні біоплівки, закріпленої на вертикальному нерухомому носії. У момент відриву бульбашки субстрат спрямовується до поверхні плівки, приграничний шар субстрату турбулізується і перемішується. При утворенні достатньо великої кількості газових бульбашок на поверхні біоплівки їх зростання помітно гальмується. Це можна пояснити зменшенням площі контакту субстрату з

біоплівкою і погіршенням масопереносу компонентів поживного середовища до біоплівки.

З метою кількісної оцінки впливу окремих параметрів процесу синтезу біогазу на величину радіуса відриву газової бульбашки від поверхні біоплівки необхідно розглянути модель зростання і відриву газової бульбашки при метаногенезі.

2.1.1 Математична модель зростання та відриву бульбашки біогазу на поверхні біоплівки

Використовуючи аналогію процесів тепло-і масовіддачі, розглянемо модель зростання і відриву газової бульбашки при метаногенезі з урахуванням припущень, прийнятих при вивченні механізму росту і відриву парової бульбашки при кипінні [17].

На початкових стадіях ріст газової бульбашки відбувається повільно, прискорюючись з розширенням бульбашки. Однак надалі її ріст уповільнюється, що може бути зумовлено зниженням швидкості поглинання субстрату мікроорганізмами і як наслідок зниження швидкості - виділення біогазу на даній ділянці за рахунок зменшення поверхні контакту біоплівки з субстратом. Також зменшення швидкості росту бульбашки частково зумовлено переходом частини об'єму бульбашки в рідину, де концентрація біогазу низька.

Уповільнення росту бульбашки перед відривом викликає появу у рідині сили інерції F_i , яка сприяє відриву бульбашки від стінки. Сила інерції F_i має дві складові: звичайну силу інерції, яку позначимо F_{i1} , та силу інерції Мещерського, яка враховує вплив змінної маси, позначимо її F_{i2} . Позначимо масу бульбашки m , а коефіцієнт приєднаної маси c_u . Звичайна сила інерції визначається за рівнянням [18]:

$$|\bar{F}_{i1}| = c_u \cdot m \cdot \frac{dW}{d\tau} = c_u \cdot m \cdot \left(\frac{d^2R}{d\tau^2}\right)_n = c_u \cdot m \cdot a_n. \quad (2.1)$$

Сила інерції Мещерського визначається за рівнянням [18]:

$$|\bar{F}_{i2}| = c_u \cdot W_n \cdot \frac{dm}{d\tau} \cdot \left(\frac{dR}{d\tau}\right)_n = c_u \cdot \frac{dm}{d\tau} \cdot \left(\frac{dR}{d\tau}\right)_n^2 = c_u \cdot \frac{dm}{dR} \cdot W_n^2; \quad (2.2)$$

де W_n, a_n – нормальні до стінки складові швидкості та прискорення росту бульбашки- відповідно.

c_u - коефіцієнт приєднаної маси;

m - маса бульбашки.

На рисунку 2.1 схематично зображена бульбашка, що зростає на поверхні біоплівки. На рисунку 2.2 представлена схема сил, що діють на бульбашку біогазу на поверхні біоплівки у нерухомій рідині.

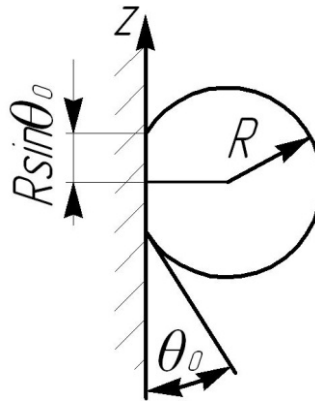


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема бульбашки, що зростає на поверхні біоплівки



Рисунок 2.2 – Схема сил, діючих на бульбашку, що зростає на поверхні біоплівки

При цьому нормальні середні по поверхні бульбашки складові швидкості та прискорення росту визначаються в залежності від функції $f_1(\theta_0)$ [19]:

$$a_n = a_b \cdot f_1(\theta_0), \quad W_n = W_b \cdot f_1(\theta_0) \quad (2.3)$$

$$\text{де } f_1(\theta_0) = \frac{0,5 \cdot \cos^2 \theta_0 + \cos \theta_0 + 0,5}{1 + \cos \theta_0}; \quad (2.4)$$

θ_0 – крайовий кут;

W_b, a_b – визначають радіальні швидкість та прискорення бульбашки відповідно;

W_n, a_n – середні по поверхні бульбашки значення швидкості та прискорення, напрямлені нормально до стінки, відповідно.

Радіальну швидкість $W_b = \frac{dR}{dt}$ визначаємо з об'ємної швидкості виділення біогазу.

Об'ємну швидкість виділення біогазу з одиниці об'єму завантаження можна описати за допомогою рівняння Конто [6]:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{B_0 S}{\tau_e} \cdot \left(1 - \frac{k}{\mu \tau_e - 1 + k}\right), \quad (2.5)$$

де $\frac{dV}{dt}$ – об'ємна швидкість виділення біогазу, $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доба})$;

B_0 – максимальний вихід біогазу з одиниці органічної речовини заданого складу, $\text{м}^3/\text{кг}$;

S – вихідна концентрація органічної речовини у субстраті, $\text{кг}/\text{м}^3$;

τ_e – час експозиції, доба;

k – кінетичний параметр;

μ – максимальна питома швидкість росту мікроорганізмів в заданому процесі, доба^{-1} .

Позначимо праву частину рівняння (2.5) як q , тоді:

$$\frac{B_0 S}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{k}{\mu\tau - 1 + k}\right) = q. \quad (2.6)$$

Об'ємна швидкість утворення біогазу з одиниці поверхні площинного носія:

$$q_m = q\delta, \quad (2.7)$$

де δ – відстань між пластинами носія.

Потік маси газу з поверхні носія S , через яку газ поступає у бульбашку:

$$\frac{dm}{d\tau} = \int_S q_m dS, \quad (2.8)$$

Враховуючи залежність $dS = 2\pi z dz$, потік маси газу знаходимо за рівнянням:

$$\frac{dm}{d\tau} = \int_S \rho'' q_m 2\pi z dz. \quad (2.9)$$

З рівняння матеріального балансу бульбашки: $\frac{dm}{d\tau} = \rho'' \frac{dV_{\delta}}{d\tau}$, (2.10)

де $\frac{dV_{\delta}}{d\tau}$ – об'ємна швидкість росту бульбашки, м³/с;

ρ'' – густина біогазу, кг/м³.

Отже, з врахуванням рівнянь (2.6), (2.9), (2.10):

$$\rho'' \frac{dV_{\delta}}{d\tau} = \int_0^{R \sin \theta_0} \rho'' q \delta 2\pi z dz = \rho'' q \delta \pi R^2 \sin^2 \theta_0, \quad (2.11)$$

З врахуванням, що бульбашка має форму усіченої сфери [19], об'ємна швидкість росту бульбашки:

$$\frac{dV_{\delta}}{d\tau} = \frac{\pi}{3} \cdot (1 + \cos \theta_0)^2 \cdot (2 - \cos \theta_0) \cdot R^2 \frac{dR}{d\tau}. \quad (2.12)$$

де:

$$f(\theta_0) = (1 + \cos \theta_0)^2 (2 - \cos \theta_0). \quad (2.13)$$

Швидкість росту бульбашки:

$$\frac{dR}{d\tau} = \frac{3 \cdot q \cdot \delta \cdot \sin^2 \theta_0}{f(\theta_0)}. \quad (2.14)$$

Визначимо прискорення a_b як похідну від швидкості росту бульбашки по часу:

$$\frac{d^2R}{d\tau^2} = \frac{3 \cdot \frac{dq}{d\tau} \cdot \delta \cdot \sin^2 \theta_0}{f(\theta_0)}, \quad (2.15)$$

де:

$$\frac{dq}{d\tau} = -\frac{B_0 S}{\tau^2} \cdot \left(1 - \frac{k}{\mu\tau - 1 + k}\right) + \frac{B_0 S}{\tau} \cdot \frac{\mu k}{(\mu\tau - 1 + k)^2} = \frac{B_0 S}{\tau} \left(\frac{\mu k}{(\mu\tau - 1 + k)^2} + \frac{k}{(\mu\tau - 1 + k)\tau} - \frac{1}{\tau} \right).$$

Нехай $\frac{dq}{d\tau} = p$. Тоді:

$$\frac{d^2R}{d\tau^2} = \frac{3 \cdot p \cdot \delta \cdot \sin^2 \theta_0}{f(\theta_0)}. \quad (2.16)$$

Враховуючи, що на бульбашку діють від'ємна сила Архімеда \bar{F}_a , сила поверхневого натягу \bar{F}_σ та сила інерції \bar{F}_i , відривний радіус бульбашки може бути визначений з рівняння рівноваги:

$$\bar{F}_a + \bar{F}_i - \bar{F}_\sigma = 0. \quad (2.17)$$

Для бульбашки, що має форму усіченої сфери, під'ємну силу Архімеда можна визначити з рівняння:

$$|\bar{F}_a| = \frac{\pi \cdot R_0^3}{3} \cdot f(\theta_0) \cdot g \cdot (\rho' - \rho''), \quad (2.18)$$

де ρ' , ρ'' – густина субстрату та газу відповідно;

Утримуючу силу поверхневого натягу знайдемо за формулою:

$$|\bar{F}_\sigma| = 2\pi R_0 \cdot \sigma \cdot \sin \theta_0, \quad (2.19)$$

де σ – поверхневий натяг рідини.

Враховуючи (2.1), (2.2), (2.14), (2.15), (2.18), (2.19), складемо рівняння динамічної рівноваги:

$$\frac{\pi \cdot R_0^3}{3} \cdot f(\theta_0) \cdot g \cdot (\rho' - \rho'') + \frac{c_u \cdot m \cdot 3p \cdot \delta \cdot \sin^2 \theta_0 f_3(\theta_0)}{f(\theta_0)} - c_u \cdot \frac{dm}{dR} \cdot \left(\frac{3q \cdot \delta \cdot \sin \theta_0 \cdot f_3(\theta_0)}{f(\theta_0)} \right)^2 - 2\pi R_0 \cdot \sigma \cdot \sin \theta_0 = 0. \quad (2.20)$$

Так як бульбашка має форму усіченої сфери, то маса бульбашки:

$$m = \frac{1}{9} \pi \cdot f(\theta_0) \cdot R^3 \cdot \rho'', \quad (2.21)$$

а зміна маси бульбашки:

$$\frac{dm}{dR} = \frac{1}{3} \pi \cdot f(\theta_0) \cdot R^2 \cdot \rho''. \quad (2.22)$$

З врахуванням виразів (2.21) і (2.22), рівняння динамічної рівноваги

запишемо у вигляді:

$$\frac{\pi \cdot R_0^3}{3} \cdot f(\theta_0) \cdot g \cdot (\rho' - \rho'') + \frac{c_u \cdot \frac{1}{3} \pi \cdot f(\theta_0) \cdot R_0^3 \cdot \rho'' \cdot 3p \cdot \delta \cdot \sin^2 \theta_0 f_3(\theta_0)}{f(\theta_0)} - c_u \cdot \frac{1}{3} \pi \cdot f(\theta_0) \cdot R_0^2 \cdot \rho'' \cdot \left(\frac{3q \cdot \delta \cdot \sin \theta_0 \cdot f_3(\theta_0)}{f(\theta_0)} \right)^2 - 2\pi R_0 \cdot \sigma \cdot \sin \theta_0 = 0. \quad (2.23)$$

Після алгебраїчних перетворень, остаточно рівняння (2.23) прийме

вигляд:

$$\frac{R_0^2}{3} \cdot f(\theta_0) \cdot g \cdot (\rho' - \rho'') + c_u \cdot \rho'' \cdot \frac{1}{3} \cdot R_0^2 \cdot p \cdot \delta \cdot \sin^2 \theta_0 f_3(\theta_0) - \frac{3c_u \cdot R_0 \cdot q^2 \cdot \delta^2 \cdot f_3^2(\theta_0) \cdot \rho'' \cdot \sin^4 \theta_0}{f(\theta_0)} - 2\pi \cdot \sigma \cdot \sin \theta_0 = 0. \quad (2.24)$$

Позначимо:

$$a = \frac{1}{3}f(\theta_0)g(\rho' - \rho'') + \frac{1}{3}\rho''c_u\rho\delta\sin^2\theta_0f_3(\theta_0), \quad b = -\frac{3\rho''c_uq^2\delta^2f_3^2(\theta_0)\sin^4\theta_0}{f(\theta_0)},$$

$$c = -2\pi\sigma\sin\theta_0.$$

(2.25)

Рівняння (2.24) з врахуванням (2.16) представляє собою квадратичне рівняння типу: $aR_0^2 + bR_0 + c = 0$, яке розв'язується відносно R_0 :

$$R_{01} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad R_{02} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

(2.26)

Перший корінь фізичного змісту не має.

Рівняння зростання бульбашки біогазу на поверхні біоплівки, яка іммобілізована на нерухомих носіях дозволяє визначити радіус відриву бульбашки біогазу в залежності від інтенсивності утворення біогазу, властивостей субстрату та відстані між носіями мікрофлори.

Однак, дане рівняння описує процес у нерухомому середовищі, коли анаеробний біофільтр працює при безперервній подачі стічної води. Рідина висхідним потоком рухається вздовж поверхні носія, при цьому створюються додаткові відривні зусилля, які сприяють відриву бульбашок меншого радіусу. Це зусилля може бути описане через тертя рідини на стінці носія в умові постійного введення газу. Отже, знайдемо зв'язок тертя на стінці носія з параметрами швидкості потоку і введення газу.

2.1.2 Зв'язок тертя на стінці носія з параметрами швидкості потоку і введення газу

Для вирішення даної задачі використаємо модель, запропоновану у [19], а саме:

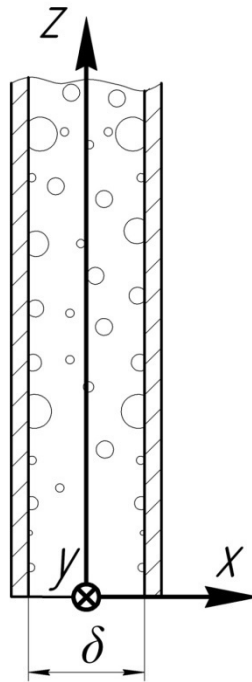


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема розміщення листів-носіїв

Початок координат поміщено у нижньому перерізі щілини, що відповідає початку руху рідини вздовж носіїв. Вісь z направлена вертикально вгору, відповідно до руху потоку, вісь y – паралельно до твірних щілини, а вісь x – по нормалі до твірних. Середовище рухається вздовж пластин знизу до гори. При його контакті з мікроорганізмами, які у вигляді біоплівки іммобілізовані на листах, органічні речовини, які знаходяться в середовищі, піддаються деструкції з утворенням біогазу.

Розглянемо випадок рідини, що нестискається, має постійну в'язкість та з інтенсивним розподіленням введення газу на поверхні (вдувом). Ця задача описується наступною системою рівнянь нерозривності та руху [20]:

$$\frac{\partial W_z}{\partial z} + \frac{\partial W_x}{\partial x} = 0, \quad (2.26)$$

$$\rho \cdot (W_z \frac{\partial W_z}{\partial z} + W_x \frac{\partial W_z}{\partial x}) = -\frac{dp}{dz} + \mu \frac{\partial^2 W_z}{\partial z^2}. \quad (2.27)$$

При цьому граничні умови:

$$x = 0, \quad W_z = 0, \quad W_x = W_{cr};$$

$$x = \frac{\delta}{2}, \quad W_z = W_n, \quad (2.28)$$

де W_n – швидкість потоку рідини в серединному перерізі,

W_{ct} – швидкість введення газу з поверхні носія.

Використовуючи перетворення [20], для пристінного шару рідини при умові постійного введення газу з поверхні носія отримане рівняння (2.29), яке описує зв'язок тертя на стінці з параметром вдува:

$$\tau_{ct} = \mu \cdot \left. \frac{\partial W_z}{\partial x} \right|_{ct} = \mu \cdot \frac{W_n}{W_{ct}} \cdot \frac{dW_n}{dz}. \quad (2.29)$$

Зриваючи силу, обумовлену наявністю потоку рідини тоді можна записати як:

$$|\bar{F}_{zp}| = \tau_{ct} \cdot R_0^2 \cdot \left(\pi - \frac{1}{2}(4\theta - \sin 4\theta) \right). \quad (2.30)$$

де $R_0^2 \cdot \left(\pi - \frac{1}{2}(4\theta - \sin 4\theta) \right)$ – площа усіченого круга, в який проєцирується бульбашка.

Тоді рівняння 2.24 приймає вигляд:

$$\begin{aligned} & \frac{R_0^2}{3} \cdot f(\theta_0) \cdot g \cdot (\rho' - \rho'') + c_u \cdot \rho'' \cdot \frac{1}{3} \cdot R_0^2 \cdot p \cdot \delta \cdot \sin^2 \theta_0 f_3(\theta_0) - \\ & - \frac{3c_u \cdot \rho'' \cdot R_0 \cdot q^2 \cdot \delta^2 \cdot f_3^2(\theta_0) \sin^4 \theta_0}{f(\theta_0)} - 2\pi \cdot \sigma \cdot \sin \theta_0 + R_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{2\pi}(4\theta - \sin 4\theta) \right) \cdot \tau_{ct} = 0. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Позначення 2.25 тоді буде записано як:

$$\begin{aligned} a' &= \frac{1}{3} f(\theta_0) g (\rho' - \rho'') + \frac{1}{3} \rho'' c_u p \delta \sin^2 \theta_0 f_3(\theta_0), \\ b' &= - \frac{3c_u q^2 \delta^2 f_3^2(\theta_0) \sin^4 \theta_0}{f(\theta_0)} + \left(1 - \frac{1}{2\pi}(4\theta - \sin 4\theta) \right) \cdot \tau_{ct}, \quad c' = -2\pi \sigma \sin \theta_0. \end{aligned} \quad (2.32)$$

2.2 Результати чисельного експерименту

2.2.1 Нерухоме середовище

З метою кількісної оцінки впливу окремих параметрів процесу синтезу біогазу на величину радіуса відриву газової бульбашки від поверхні біоплівки проведено чисельний експеримент.

Розрахунки проводились за формулами 2.1-2.25.

Були розраховані коефіцієнти a , b , c за формулою 2.25, а також відривний радіус бульбашок R_0 для трьох випадків:

- Для кінетичного параметра $k=1$, постійної температури середовища (40°C), при котрій вихід біогазу складає $B_0 = 0,37\text{ м}^3/\text{кг}_{\text{ХСК}}$, культури мікроорганізмів ($\mu_{\text{макс}} = 1,2$, $K_S = 7$) при різному навантаженні по ХСК Результати розрахунку приведені в таблиці 2.1.
- При різних співвідношеннях максимальної питомої швидкості росту мікроорганізмів і кінетичного параметру k при постійній температурі процесу. Результати розрахунку приведені в таблиці 2.2.
- Для різних температур процесу. Результати розрахунку приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.1 – Залежність відривного радіусу бульбашки від навантаження стоку по ХСК.

$\mu_{\text{макс}} = 1,2\text{ доба}^{-1}$, $k = 1$, $B_0 = 0,37\text{ м}^3/\text{кг}_{\text{ХСК}}$, $t=40^\circ\text{C}$				
ХСК, $\text{кг}/\text{м}^3$	a	b	c	R_0
I	II	III	IV	V
1	$1,292 \cdot 10^4$	$1,214 \cdot 10^{-9}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
2	$1,292 \cdot 10^4$	$4,857 \cdot 10^{-9}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$

продовження таблиці 2.1.

I	II	III	IV	V
3	$1,292 \cdot 10^4$	$1,093 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
4	$1,292 \cdot 10^4$	$1,943 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
5	$1,292 \cdot 10^4$	$3,036 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
6	$1,292 \cdot 10^4$	$4,371 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
7	$1,292 \cdot 10^4$	$5,95 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
8	$1,292 \cdot 10^4$	$7,77 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
9	$1,292 \cdot 10^4$	$9,835 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$

Таблиця 2.2 – Залежність відривного радіусу бульбашки від значень максимальної питомої швидкості росту мікроорганізмів і кінетичного параметру k при постійній температурі процесу

$S = 6 \text{ кг/м}^3, k = 1, B_0 = 0,37 \text{ м}^3/\text{кг}_{\text{ХСК}}, t=40^\circ\text{C}$				
$\mu_{\text{макс}}, \text{ доба}^{-1}$	a	b	c	R_0
0,4	$1,292 \cdot 10^4$	$1,847 \cdot 10^{-9}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
0,8	$1,292 \cdot 10^4$	$1,767 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
1,2	$1,292 \cdot 10^4$	$4,371 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
1,6	$1,292 \cdot 10^4$	$7,166 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
$S = 6 \text{ кг/м}^3, k = 0,5, B_0 = 0,37 \text{ м}^3/\text{кг}_{\text{ХСК}}, t=40^\circ\text{C}$				

$\mu_{\text{макс}}, \text{доба}^{-1}$	a	b	c	R_0
0,4	$1,292 \cdot 10^4$	$2,973 \cdot 10^{-9}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
0,8	$1,292 \cdot 10^4$	$6,167 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
1,2	$1,292 \cdot 10^4$	$1,447 \cdot 10^{-7}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
1,6	$1,292 \cdot 10^4$	$2,151 \cdot 10^{-7}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$

Як видно з таблиці 2.2, не зважаючи на те, що при збільшенні навантаження на мул по ХСК швидкість зростання бульбашок, а отже і інтенсивність процесу збільшується, однак не впливає на відривний радіус бульбашок. Також на відривний радіус бульбашок не впливає в значній мірі і характеристики активної мікрофлори. Це пояснюється вагомим значення сили Архімеду та поверхневого натягу у порівнянні з силами інерції, що виникають у результаті росту бульбашки.

Проте, як відомо, температура середовище має значний вплив на поверхневий натяг рідини, густину, кількість біогазу, отриманого з 1 кг знятого ХСК. Отже, для трьох температур проведення процесу були також розраховані коефіцієнти a, b, c та відривний радіус бульбашок R_0 . Результати розрахунку приведені в таблиці 2.3 та на рисунку 2.4.

Таблиця 2.3 – Залежність відривного радіусу бульбашки від температури

$$\mu_{\text{макс}} = 1,2, \quad k = 1, \quad S = 6,5 \text{ кг/м}^3$$

t, °C	$\sigma, \text{Н/м}$	$B_0, \text{м}^3/\text{кг}_{\text{ХСК}}$	$\rho_{\text{ж}}, \text{кг/м}^3$	a	b	c	$R_0, \text{м}$
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
30	$718 \cdot 10^{-4}$	0,3	996	$1,297 \cdot 10^4$	$3,769 \cdot 10^{-8}$	-0,049	$1,946 \cdot 10^{-3}$

40	$695,6 \cdot 10^{-4}$	0,37	992	$1,292 \cdot 10^4$	$5,733 \cdot 10^{-8}$	-0,048	$1,919 \cdot 10^{-3}$
50	$661,8 \cdot 10^{-4}$	0,44	988	$1,286 \cdot 10^4$	$8,108 \cdot 10^{-8}$	-0,045	$1,876 \cdot 10^{-3}$

*У таблиці 2.2 параметри у стовпчиках I-IV є табличними даними.

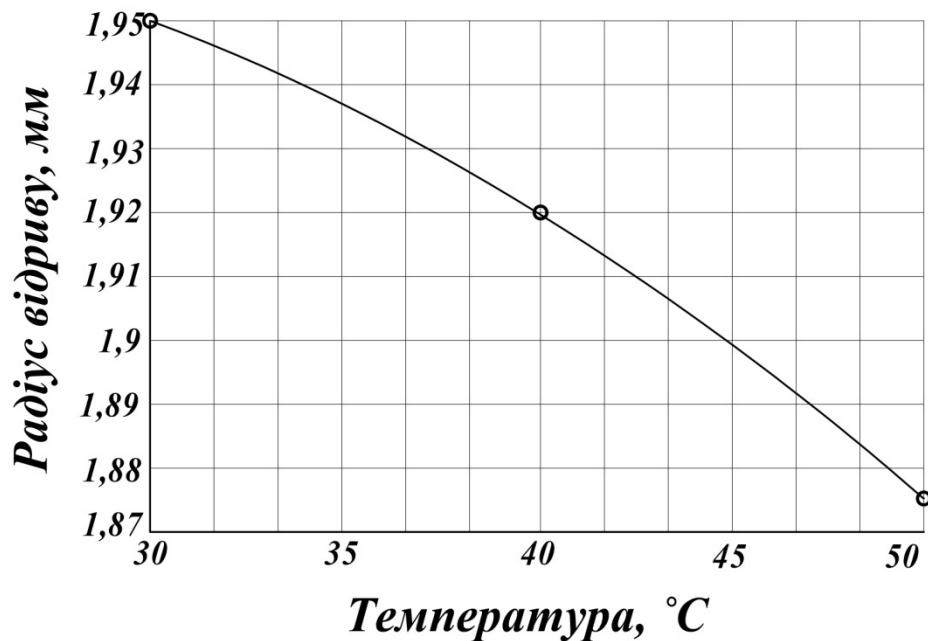


Рисунок 2.4 – Залежність відривного радіуса бульбашки від температури середовища.

2.2.2 Постійне введення стічної води висхідним потоком

Метою даного чисельного експерименту є з'ясування впливу потоку рідини, що являє собою зриваюче зусилля, на відривний радіус бульбашки.

Напруження тертя на поверхні плівки описується залежністю 2.29:

$$\tau_{ст} = \mu \frac{W_n}{W_{ст}} \cdot \frac{dW}{dz}.$$

$W_{ст}$ - швидкість вдуву, або швидкість, з якою починає спливати бульбашка після відриву. Прийmemo осереднене значення $W_{ст} = 0,0002 \text{ м/с}$.

Розміри рідинних прошарків між газовими бульбашками по висоті каналів, утворених нерухомою насадкою, змінюється. В перерізах близьких,

до входу рідини, газовміст низький, середовище представляє собою рідину з незначними газовими включеннями, що рухається, переважно, в ламінарному режимі особливо біля стінок каналу. По мірі підйому середовища по висоті каналу вміст газової фази зростає, рідинні перетинки стають тоншими.

Враховуючи, що з висотою біофільтра газовміст системи зростає при постійній витраті рідини, то запишемо залежність швидкості потоку рідини від висоти біофільтра як:

$$W_n(z) = W_{n0} \cdot (1 - \varphi(z)), \quad (2.33)$$

де W_{n0} - швидкість потоку рідини при газовмісті $\varphi(0) = 0$ в нижньому перерізі біофільтра.

Для спрощення задачі приймемо лінійну залежність газовмісту системи від висоти. Приймаючи висоту реактора $H = 1\text{м}$, максимальний газовміст $\varphi(1) = 0,4$, отримуємо залежність газовмісту від висоти:

$$\varphi(z) = 0,4z. \quad (2.34)$$

Для $t = 40^\circ\text{C}$, $B_0 = 0,37\text{м}^3/\text{кг}_{\text{ХСК}}$, $\sigma = 695,6 \cdot 10^{-4}\text{Н/м}$, $\mu = 654\text{Па} \cdot \text{с}$,
 $\rho_{\text{ж}} = 992\text{кг/м}^3$, $S = 6,5\text{кг/м}^3$, $\mu_{\text{макс}} = 1,2$, $k = 1$.

Таблиця 2.4 – Залежність відривного радіусу бульбашки від швидкості висхідного потоку рідини та висоти

$W_{\text{пвхідна}}, \text{м/с}$	$z, \text{м}$	$W_n, \text{м/с}$	$\frac{dW_n}{dz}, \text{с}^{-1}$	a'	b'	c'	$R_0, \text{м}$
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$3 \cdot 10^{-4}$	0,25	$3,333 \cdot 10^{-4}$	$1,481 \cdot 10^{-4}$	$1,292 \cdot 10^4$	0,151	-0,048	$1,913 \cdot 10^{-3}$
	0,5	$3,75 \cdot 10^{-4}$	$1,875 \cdot 10^{-4}$		0,215		$1,911 \cdot 10^{-3}$
	0,75	$4,286 \cdot 10^{-4}$	$2,449 \cdot 10^{-4}$		0,321		$1,907 \cdot 10^{-3}$
	1	$5 \cdot 10^{-4}$	$3,333 \cdot 10^{-4}$		0,509		$1,899 \cdot 10^{-3}$
	0,25	$6,667 \cdot 10^{-4}$	$2,963 \cdot 10^{-4}$		0,604	-0,048	$1,896 \cdot 10^{-3}$
	0,5	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$3,75 \cdot 10^{-4}$		0,86		$1,886 \cdot 10^{-3}$

$6 \cdot 10^{-4}$	0,75	$8,571 \cdot 10^{-4}$	$4,898 \cdot 10^{-4}$	$1,292 \cdot 10^4$	1,283		$1,87 \cdot 10^{-3}$
	1	$1 \cdot 10^{-3}$	$6,667 \cdot 10^{-4}$		2,037		$1,842 \cdot 10^{-3}$
продовження таблиці 2.4.							
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$9 \cdot 10^{-4}$	0,25	$1 \cdot 10^{-3}$	$4,444 \cdot 10^{-4}$	$1,292 \cdot 10^4$	1,358	-0,048	$1,867 \cdot 10^{-3}$
	0,5	$1,125 \cdot 10^{-3}$	$5,625 \cdot 10^{-4}$		1,934		$1,846 \cdot 10^{-3}$
	0,75	$1,286 \cdot 10^{-3}$	$7,347 \cdot 10^{-4}$		2,887		$1,81 \cdot 10^{-3}$
	1	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$		4,584		$1,75 \cdot 10^{-3}$
$12 \cdot 10^{-4}$	0,25	$1,333 \cdot 10^{-3}$	$5,926 \cdot 10^{-4}$	$1,292 \cdot 10^4$	2,415	-0,048	$1,828 \cdot 10^{-3}$
	0,5	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$		3,438		$1,79 \cdot 10^{-3}$
	0,75	$1,714 \cdot 10^{-3}$	$9,796 \cdot 10^{-4}$		5,132		$1,731 \cdot 10^{-3}$
	1	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,333 \cdot 10^{-3}$		8,149		$1,629 \cdot 10^{-3}$

*У таблиці 2.4 параметри у стовпчиках I-II є вхідними даними для розрахунку.

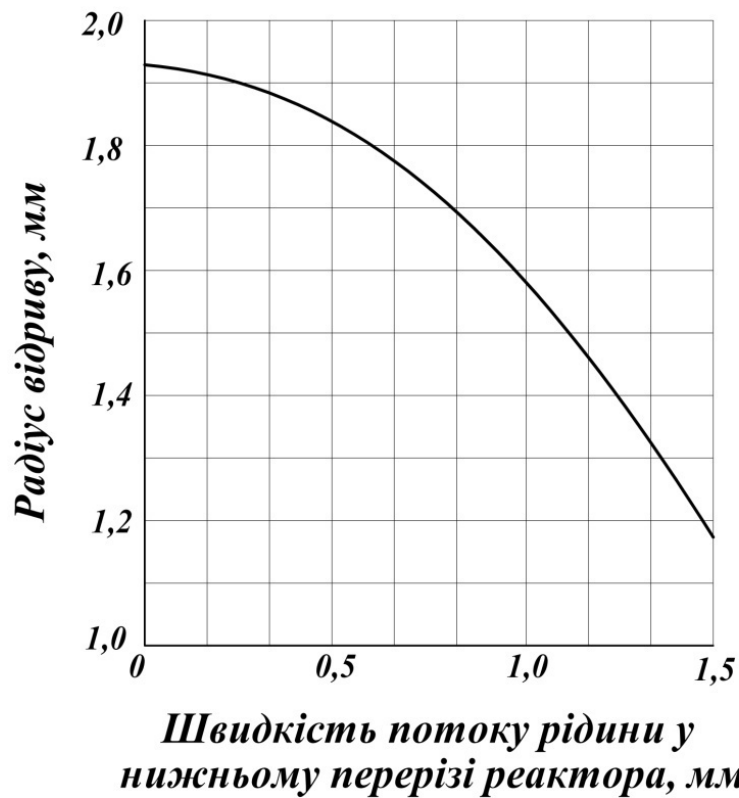


Рисунок 2.5 – Залежність відривного радіуса бульбашки від швидкості потоку рідини (швидкість на графіку приведена у нижньому перерізі апарата, відривний радіус бульбашки представляє собою інтегрально осереднене значення радіусу по висоті каналу)

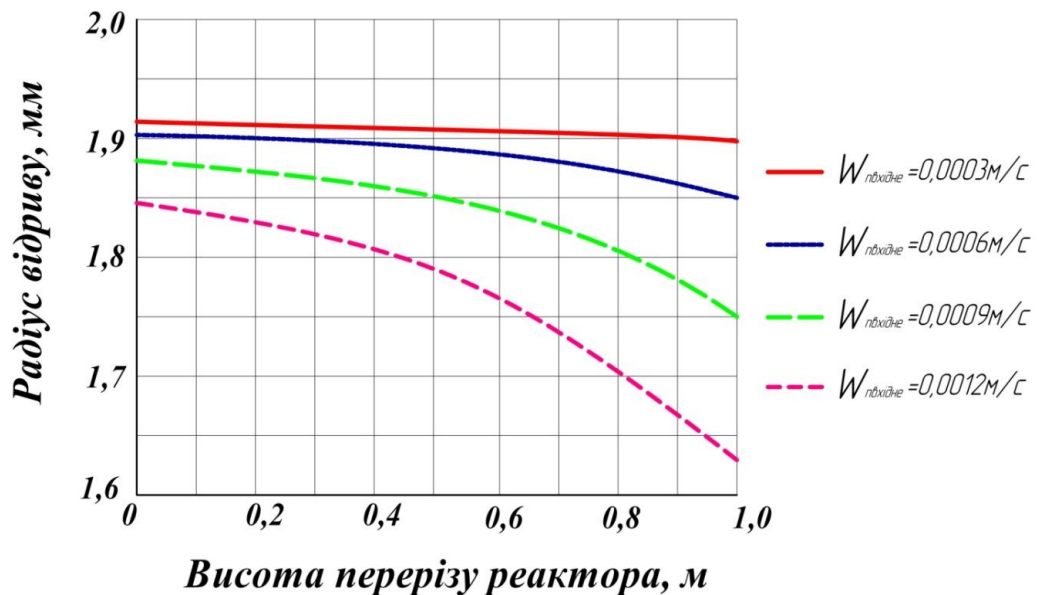


Рисунок 2.6 – Залежність відривного радіуса бульбашки від висоти перетину при різних швидкостях потоку рідини (швидкість на графіку приведена у нижньому перерізі апарата)

2.3 Висновки

1. Проведене теоретичне дослідження процесів утворення та відриву бульбашок біогазу на поверхні біоплівки в анаеробному біофільтрі.

2. На основі аналіза залежності відривного радіуса бульбашки від температури середовища (рис. 2.4) встановлено, що відривний радіус незначно залежить від температури середовища.

3. На основі аналіза залежності відривного радіуса бульбашки від швидкості потоку рідини (рис. 2.5) та залежності відривного радіуса бульбашки від висоти перетину при різних швидкостях потоку рідини (рис. 2.6) встановлено, що зі збільшенням швидкості висхідного потоку рідини відривний радіус бульбашок зменшується, що сприяє інтенсифікації процесу в цілому.

4. Попередні дослідження показують, що при високих швидкостях висхідного потоку рідини відбувається відрив частин біоплівки, що негативно впливає на процес.

3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АНАЕРОБНОГО БІОФІЛЬТРА

3.1 Вибір програмного забезпечення та побудова моделі

Метою моделювання є визначення товщини стінок конструктивних елементів та їх перевірка на міцність.

Так як даний апарат може застосовуватись у багатьох галузях при проектуванні необхідно задаватися певним запасом міцності.

У пакеті Solidworks була спроектована конструкція анаеробного біофільтра з використанням реальних фізичних властивостей матеріалів було проведено дослідження конструктивних елементів на міцність та стійкість за заданим тиском $P = 0,1$ МПа.

Вихідні дані для розрахунку на міцність

Матеріал апарату сталь 16ГС

Габаритні розміри апарату, мм

довжина	22770
ширина	5780
висота	12000
Маса апарату, кг	40000
Надлишковий тиск, МПа	0,12

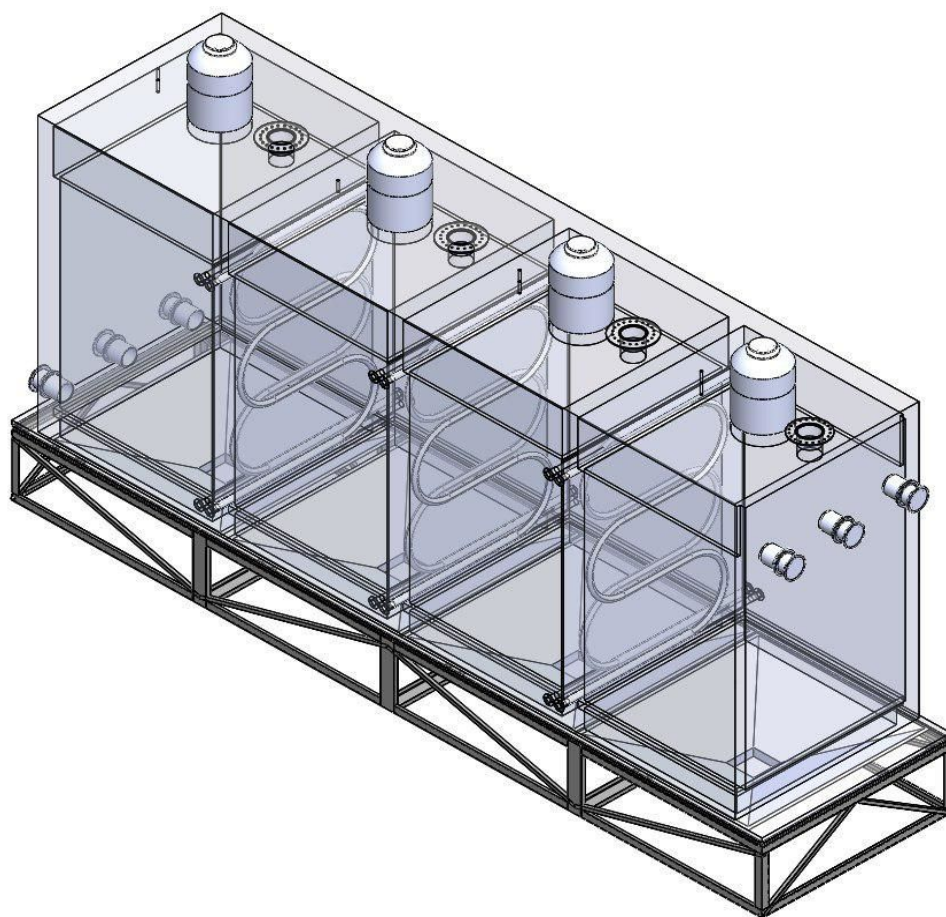


Рисунок 3.1 – 3D модель анаэробного биофильтра

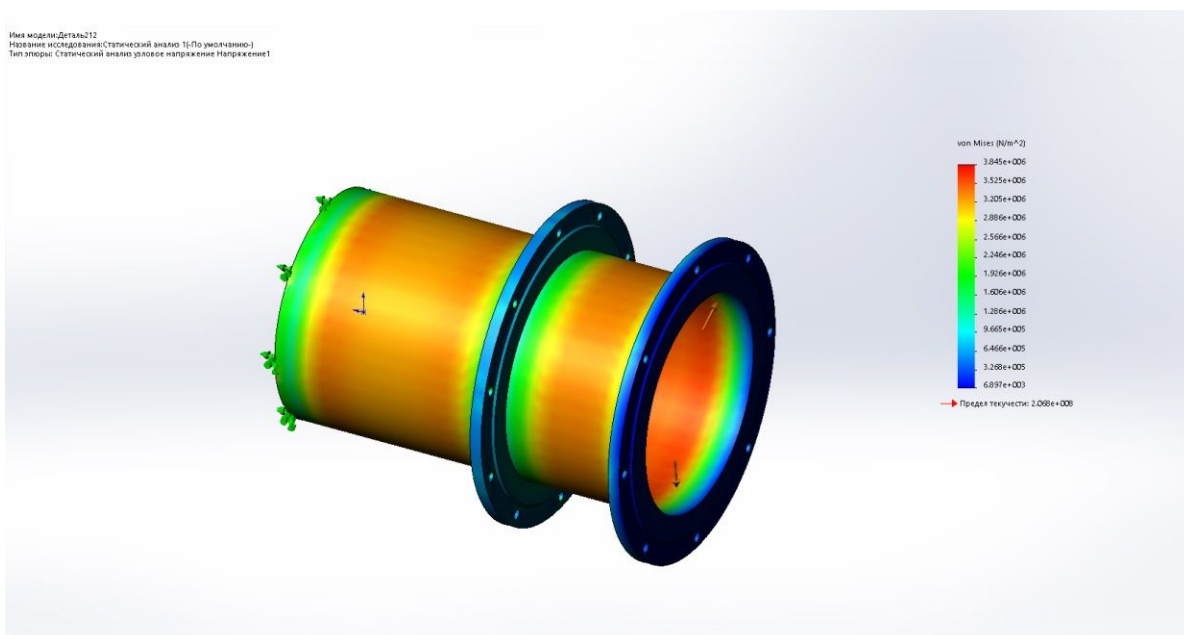


Рисунок 3.2 – Штуцер, эпюра напряжений

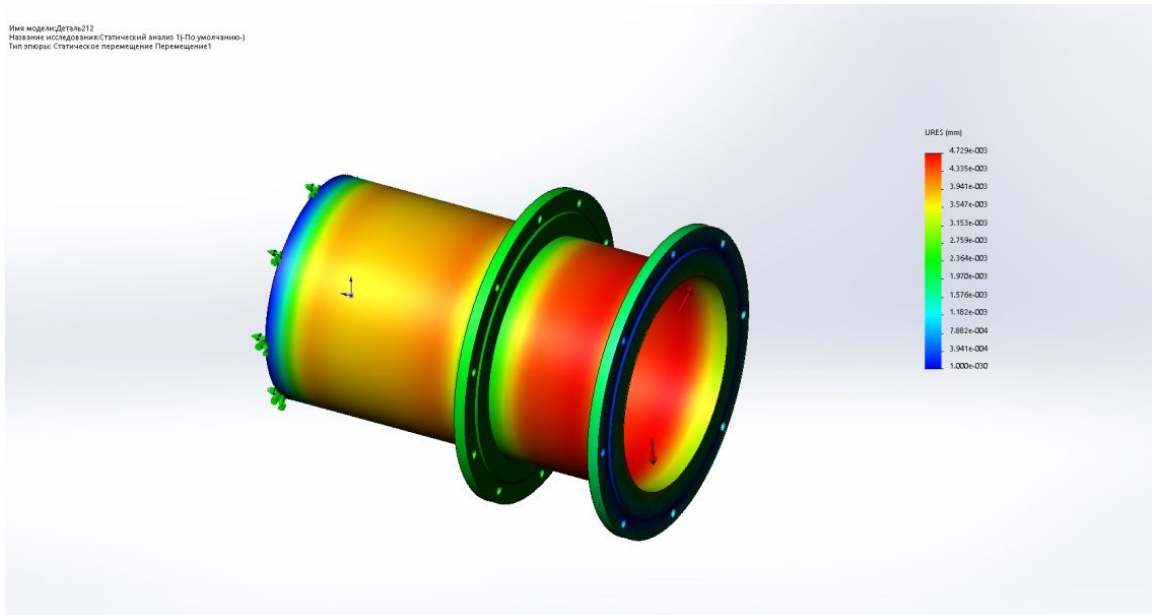


Рисунок 3.3 – Штуцер, епюра деформацій

Имя модели: Деталь.212
 Название исследования: Статический анализ 1: По умолчанию...
 Тип элэры: Статическое перемещение Перемещение1

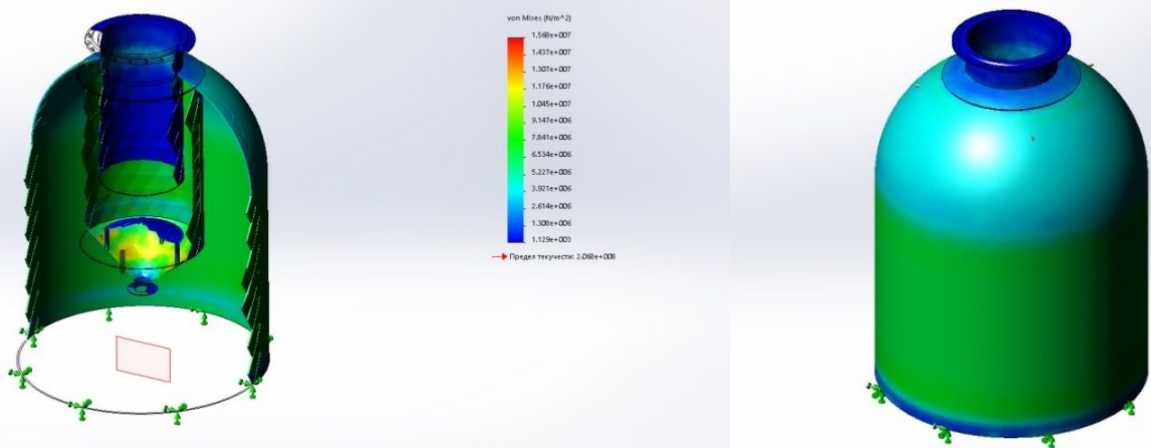


Рисунок 3.4 – Газовіддільник, епюра напружень

Имя модели: Силы напряжения
Название исследования: Статический анализ 26 По умолчанию
Тип элмры: Статический анализ (Параметризм)

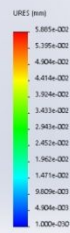
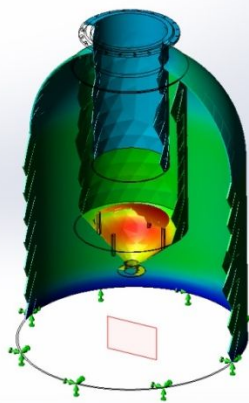


Рисунок 3.5 – Газовіддільник, епюра деформацій

Имя модели: Опора биореактора
Название исследования: Статический анализ 26 По умолчанию Как обработанный
Тип элмры: Верхняя граница осевого напряжения и изгиба (Напряжение)

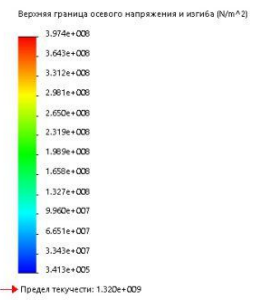
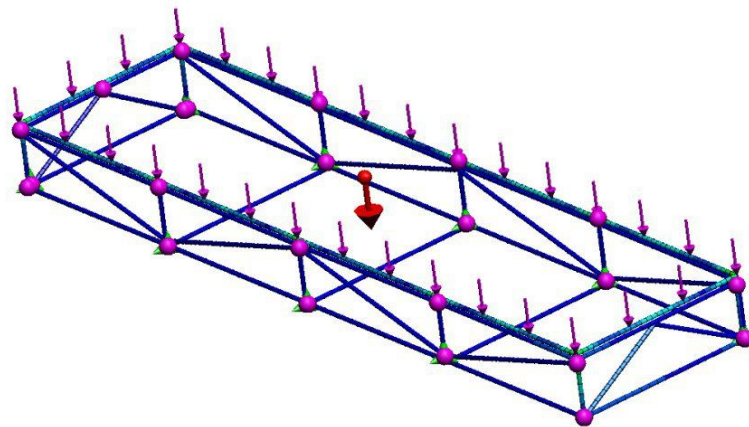


Рисунок 3.6 – Опора, епюра напружень

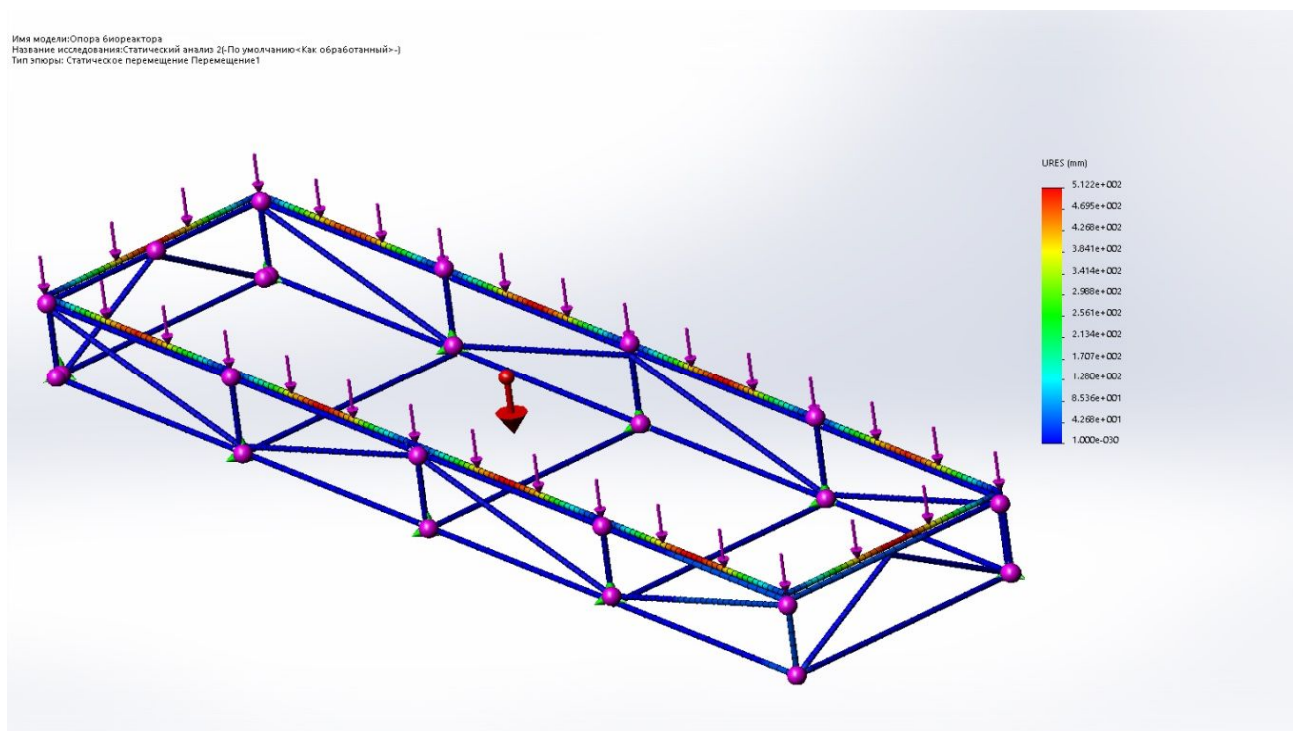


Рисунок 3.7 – Опора, еюра деформацій

3.2 Аналіз результатів моделювання

На рисунку 3.2 зображена еюра напружень штуцера. Максимальне напруження конструктивного елемента досягається в червоних зонах і становить $3,6 \cdot 10^{-8}$ Па.

На рисунку 3.3 зображена еюра деформацій штуцера. Максимальна деформація конструктивного елемента досягається в червоних зонах і становить $4,72 \cdot 10^{-2}$ мм.

На рисунку 3.4 зображена еюра напружень газовіддільника. Максимальне напруження конструктивного елемента досягається в жовтих зонах і становить $1,2 \cdot 10^{-7}$ Па.

На рисунку 3.5 зображена еюра деформацій газовіддільника. Максимальна деформація конструктивного елемента досягається в червоних зонах і становить $5,3 \cdot 10^{-2}$ мм.

На рисунку 3.6 зображена епюра напружень опори. Максимальне напруження конструктивного елемента досягається в червоних зонах і становить $5,55 \cdot 10^{-9}$ Па.

На рисунку 3.7 зображена епюра деформацій опори. Максимальна деформація конструктивного елемента досягається в червоних зонах і становить $5,1 \cdot 10^{-2}$ мм.

3.3 Висновки

При навантаженні елементів виявилось, що умова стійкості та міцності виконується. Деформації конструктивних елементів в допустимих діапазонах.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ АНАЕРОБНОГО БІОФІЛЬТРУ

4.1 Опис технологічної схеми очищення стічної води виробництва кормових дріжджів

Річна потужність виробництва кормових дріжджів 30000т. За даними [21] на 1т готової продукції вихід стічної води складає 45-53м³. Тоді приймаємо добову витрату стічної води 4000м³/доба. Характеристика стічної води виробництва кормових дріжджів приведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика стічної води виробництва кормових дріжджів

Параметр	Величина
Витрата стічної води, м ³ /доба	4000
Температура (°C)	35 – 37
pH	4 – 4,5
Органічні речовини (кг/м ³)	7– 10
Мінеральні речовини (кг/м ³)	2 – 4
Суспензована речовина (кг/м ³)	1 – 2 6– 11
ХСК (кгО ₂ /м ³)	2,5 – 5
БСК ₅ (кгО ₂ / м ³)	0,2 – 0,5
Органічні кислоти (кг/м ³)	0,0011 – 0,023
Феноли (кг/м ³)	0,2 – 0,7
Загальний азот (кг/м ³)	0,025 – 0,1
Фосфор (кгР ₂ О ₄ /м ³)	2 – 3

Очисні споруди включають ступінь механічної обробки, змішувач-усереднювач, два анаеробні біофільтри, які працюють паралельно, аеробний біореактор, вторинний освітлювач, станцію дозування реагентів, станцію зневоднення осаду на стрічковому фільтрпресі, біофільтр для очищення видхідного повітря.

Попередньо крупні механічні домішки, що містяться у стічній воді, видаляються на барабанних решітках РБ1, РБ2. На первинному відстійнику ВПЗ відбувається видалення легкоосаджувальних домішок. Змішувач-осереднювач ЗУ4 забезпечує накопичування та перемішування стоку, а також попереднє біологічне закисання органічних речовин, що сприяє більш ефективній біологічній обробці у подальшому. Також до змішувача-осереднювача ЗУ4 додається луг для доведення рН стоку до нейтрального. Основним елементом системи очистки стічної води є блок анаеробних реакторів БАН9, БАН10, працюючих паралельно. Для оптимальної роботи реактора автоматично регулюються витрата води, температура, рН. У результаті анаеробного очищення органічні сполуки розпадаються до метану та вуглекислого газу. Біогаз, який містить 75-80% метану, поступає до когенераційної установки, де біогаз спалюється з виділенням теплової та електричної енергії, за рахунок якої забезпечується функціонування установки. У анаеробних біофільтрах здійснюється очищення стічної води від $6,5 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$ до $0,975 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$, тобто забезпечується ступінь очищення 85%. Аеробне доочищення стічної води відбувається в аеробному реакторі АТ29. У анаеробних біофільтрах здійснюється очищення стічної води від $0,975 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$ до $0,3 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{м}^3$, тобто забезпечується загальна ступінь очищення стічної води 95,4%. Очищений стік освітлюється на вторинному відстійнику ВВ30. З вторинного відстійника вода самопливом поступає до міської каналізації. Осад з первинного відстійника ВПЗ, анаеробних біофільтрів БАН9, БАН10, вторинного відстійника ВВ30 за допомогою фекальних насосів Н12, Н13, Н15, Н33, Н34 подається на ступінь зневоднення осаду. При цьому осад з анаеробних біофільтрів БАН9, БАН10

збирається у Зб11, осад з відстійників ВПЗ, ВВ30 – у Зб14, з яких періодично завантажуються до змішувача З18, до якого також подається флокулянт. Зі змішувача З18 осад поступає на стрічкових фільтрпрес ФС19. Зневоднений осад підлягає утилізації, вода з фільтрпресу поступає на очищення у аеробний реактор АТ29.

Повітря для аерації до аеротенку подається за рахунок вентиляторів В24, В26, В28. Повітря забирається з атмосфери за допомогою повітрязбірників ПЗ23, ПЗ25, ПЗ27. Відпрацьоване повітря очищується на біофільтрі БФ38 та викидається в атмосферу.

4.2 Конструктивні особливості анаеробного біофільтра

4.2.1 Порівняльний аналіз основних показників конструкції з діючими аналогами

4.2.1.1 Реферати про найбільш суттєві технічні рішення

1) A bioconversion reactor: пат. 0213691 В1.USA: МПК С 02 F3/28/ Perry L. McCarty, Andre Bechmann: заявитель и патентообладатель The board of trustees of the Leland Stanford junior University. – №86304054.9 ; заявл. 28.05.86; опубл. 11.03.87, Бюл. № 92/30. — 13 с.

Реактор для біоконверсії анаеробним бродінням органічних речовин в потоці рідини, який включає в себе: ємність, що має стінки зверху, знизу і збоку, які огорожують заданий об'єм; вхідний отвір, передбачений в ємності, через який потік рідини надходить в апарат, вихідний отвір, передбачений в ємності, через який потік рідини виходить з апарату, безліч перегородок, поміщених в ємність, розміщених паралельно на відстані одна від одної. Перегородки поділяють ємність на відсіки з висхідним і низхідним потоком. Об'єм відсіку з низхідним потоком менше об'єму відсіку з висхідним потоком. Під час експлуатації потік рідини проходить від нижньої

частини відсіку з низхідним потоком, через проточний перехід надходить у відсік з висхідним потоком. Перегородки запобігають циркуляції мікроорганізмів в ємності, так що мікроорганізми зберігаються в реакторі, в той час як потік рідини циркулює по резервуару.

2) Метантенк для анаеробной обработки органических отходов: пат. 2408546 С2. Ru: МПК C02F3/00 (2006.01), C02F11/04 (2006.01) / Ковалев Дмитрий Александрович (RU), Камайданов Евгений Николаевич (RU) : заявитель и патентообладатель Российская Академия Сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ) (RU).

Винахід відноситься до області природоохоронної техніки з переважним використанням у сільському господарстві. Метантенк включає корпус циліндричної форми, патрубки підведення вихідних та відведення оброблених відходів, патрубок відведення біогазу, центральну трубу з порожнистої стінкою і з патрубками для підведення і відведення теплоносія, патрубок для підведення біогазу, вертикально орієнтовані засоби іммобілізації анаеробної мікрофлори у вигляді сукупності вертикальних стрижнів з пористою структурою. Сукупність вертикальних стрижнів об'єднана у верхній частині за допомогою жорсткої рамної підвіски і виконана з можливістю реверсивного обертання всередині кільцевого простору метантенка, утвореного центральною трубою і циліндричної стінкою метантенка. Циліндрична стінка метантенка забезпечена гріючої сорочкою. Верхня частина корпусу метантенка забезпечена кільцевими гідрозатворами і електромеханічним приводом, пов'язаним через жорсткий вал з жорсткою рамної підвіскою. Жорсткий вал герметично пов'язаний з занурювальним ковпаком гідрозатвору. Винахід дозволяє інтенсифікувати теплообмін між теплоносієм і біомасою, знизити нерівномірність нагріву біомаси, інтенсифікувати масообмін між вихідним субстратом і анаеробної мікрофлорою.

3) Реактор и способ анаэробной очистки сточных вод: пат. 2377191 C2. Ru: МПК C02F3/28 (2006.01) / Хердинг Вальтер (DE), Хердинг Урс (DE), Пальц Курт (DE), Тюрауф Райнер (DE), Прехтль Штефан (DE), Шольц Райнер (DE), Шнайдер Ральф (DE), Винтер Йоханн (DE), Юнг Рольф (DE)): заявитель и патентообладатель хердинг гмбх фильтертехник (DE), АТЦ-эфус энтвиклунгсцентрум фюр ферфаренстехник (DE)

Винахід відноситься до реакторів і методам анаеробної очистки стічної води. Реактор виконаний з внутрішнім контуром циркуляції з центральним проточним каналом. У кільцевому просторі між центральним проточним каналом і стінкою реактора встановлені несучі елементи для іммобілізації мікроорганізмів. Між суміжними несучими елементами є шляхи протікання. Нижня частина реактора під несучими елементами виконана у вигляді простору, призначеного для прийому стічної води з плаваючими в них мікроорганізмами. При роботі реактора передбачені як плаваючі, так і іммобілізовані на несучих елементах мікроорганізми. Стічна вода, що очищується, тече по центру вниз і вздовж несучих елементів знову вгору, причому течія створюється частково за рахунок утворення мікроорганізмами газу. Реактор може бути використаний також і для очищення стічної води в харчовій і комбікормовій промисловості, а також у паперовій та текстильній промисловості. Використання винаходу дозволить підвищити якість очищення стічної води.

4) Завантаження для біофільтрів: пат. 53008 C2. UA: МПК) C02F3/10 (2006.01) /Кравченко Віталій Сергійович (UA), Квартенко Олександр Миколайович (UA), Кравченко Наталія Віталіївна (UA): заявник і патентовласник Рівненський державний технічний університет (UA).

Завантаження для біофільтрів, виконане у вигляді еластичних смуг з синтетичного матеріалу, що закріплені поруч одна біля одної на несучих рамах, яке відрізняється тим, що рами разом з еластичними смугами виконані у вигляді окремих блоків завантаження із зазорами між ними. Ряди блоків із

завантаженням розташовані у шаховому порядку, паралельно один відносно одного. Смуги завантаження виконані у вигляді пучків пружних волокон.

4.2.1.2 Відомості про використанні винаходи, результати патентних досліджень і патентну чистоту

Предмет пошуку: установки, апарати, пристрої. Об'єктом пошуку є винаходи і корисні моделі.

Мета пошуку: визначення патентної ситуації теми, що розглядається у дисертації (визначення патентоспроможності проєктованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

Держави пошуку: Україна, Російська Федерація, США, ЄС, Японія.

Ретроспективність: строк дії патенту України на винахід становить 20 років від дати подання заявки до установи. Строк дії деклараційного патенту на винахід становить 6 років від дати подання заявки до установи.

Встановлюємо регламент пошуку 1992-2012 рр.

Джерела інформації. 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені Укрпатенту, Роспатенту, United States Patent, Європейського патентного відомства;

2) Науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології.

4.2.1.3 Висновки патентних досліджень

В результаті проведених патентних досліджень встановлено, що останнім часом винахідницька активність промислово розвинутих країн у природоохоронній галузі, де використовуються анаеробні реактори для очищення стічних вод, зокрема біофільтри, залишається стабільною. При

цьому вдосконалення існуючих конструкцій ведеться у сфері об'єднання переваг різних конструкцій реакторів, вдосконаленні конструктивних елементів анаеробних біофільтрів, зокрема завантаження та газовідділяючих пристроїв. У розробці нових апаратів активну участь приймає і Україна. При цьому запатентовані винаходи й корисні моделі стосуються як апаратів в цілому, так і його складових частин.

4.2.2 Принцип роботи анаеробного біофільтра

На рисунку 4.1 представлена принципова схема роботи анаеробного біофільтра.

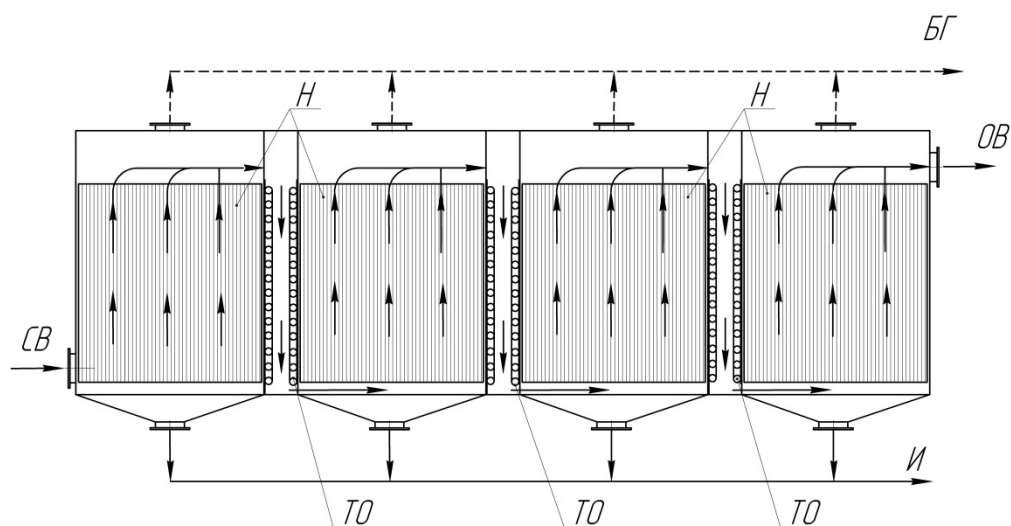


Рисунок 4.1 – Принципова схема роботи біофільтра з іммобілізованою на нерухомих носіях мікрофлорою: СВ – стічна вода; ОВ – очищена вода; БГ – вихід біогазу; Н – блоки носіїв; ТО – теплообмінні пристрої; И - випуск відпрацьованого активного мулу

Стічна вода очищується, вступаючи в кожну із секцій знизу і висхідним потоком проходячи через завантаження з фіксованою на ній мікрофлорою. Між секціями встановлені перегородки, які, в свою чергу, грають роль теплообмінних пристроїв. Поділ реактора на кілька секцій дозволяє

розподілити різні бактеріальні популяції по довжині реактора Реакційний простір може згодом розглядається як декілько ступінчастий анаеробний процес з ацетогенезом в першій секції і метаногенезом в кінці реактора. Така організація реактора дозволяє активної біомасі краще протистояти залповим навантаженням.

Реактор використовується для першого ступеня очищення стічної води виробництва кормових дріжджів. Річна потужність виробництва 30000т. За даними [21] на 1т готової продукції вихід стічної води складає 45-53м³. Тоді приймаємо добову витрату стічної води 4000м³/доба. Температур а стічної води складає 35-37°C, отже приймаємо, що у біофільтрі відбувається анаеробне бродіння у мезофільному режимі при температурі середовища $t_{\text{сер}} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$.

4.2.3 Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів

Для вибору матеріалів використовуємо технічні вимоги і технічну характеристику, яким має задовольняти апарат. Враховуючи, що тиск в апараті не перевищує 0,3 МПа, а температура 40°C - для частин апарату, середовище у апараті є неагресивним, з нейтральним значенням рН, обираємо сталь 16ГС ГОСТ 19281- 89, що є конструкційною низколегованою сталлю для зварних конструкцій, яка не вступає в реакцію з стічною водою, що очищається. Дана марка сталі має дуже низький зміст вуглецю та особливо підходить для виготовлення зварених конструкцій.

4.3 Технічна характеристика апарату

Апарат призначений для локального очищення води стічної у анаеробних умовах.

1. Об'єм корпусу апарату, м ³	923
2. Робочий тиск, МПа	0,1
3. Граничне навантаження, кг/м ³	
по БСК _{полн}	8
по ХСК	12
4. Завантаження	листи полімерні
5. Поверхня завантаження, м ²	52800
6. Середовище	вода стічна
7. Теплоносій	вода технічна
8. Температура, °С	
середовища	37
теплоносія на вході	95
теплоносія на виході	85
9. Поверхня теплообміну, м ²	45,3
10. Габаритні розміри, мм	
довжина	22770
ширина	5780
висота	12000
11. Маса апарату, кг	40000

4.4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції біофільтра

Вихідні дані:

Кількість стічної води, м ³ / добу	Q = 4000
ХСК, кгО ₂ / м ³	S ₀ = 6,5
БСК ₅ , кгО ₂ / м ³	L _{en} = 3,2
Концентрація лімітуючого субстрату, кг / м ³	S = 0,02
Температура процесу, °С	t = 35
Ефективність очищення, %	85

4.4.1 Технологічний розрахунок

Біофільтр обираємо за площею поверхні завантаження, що є максимальним значенням, розрахованим за поверхнею завантаження, що утворюється листами секції завантаження апарата, і за об'ємним навантаженням на мул по ХСК:

$$F_{\min} \geq \max \{F_{\text{г.з.}}; F_{\text{н.м.}}\}, \quad (4.1)$$

де F_{\min} – мінімальна поверхня завантаження біофільтра;

$F_{\text{г.з.}}$ – необхідна поверхня завантаження за розрахунком гідравлічного завантаження;

$F_{\text{н.м.}}$ – необхідна поверхня завантаження за розрахунком об'ємного навантаження на мул по ХСК.

У якості завантаження використовуються блоки, які складаються з плоско паралельних нерухомих листів полімерного матеріалу. Приймаємо питому площу завантаження за [22] $F_{\text{пит}} = 100 \text{ м}^2 / \text{м}^3$. Гідравлічне

завантаження на поверхню приймаємо за [22] $q = 14,7 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{добу})$. Тоді за [4] прикладене поверхнєве навантаження:

$$CSA = \frac{S_0 q}{F_{\text{пит}}} = \frac{6,5 \cdot 14,7}{100} = 0,9555 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{доба}). \quad (4.2)$$

Мінімальна поверхня завантаження за розрахунком гідравлічного завантаження:

$$F_{\text{г.з.}} = \frac{S_0 Q}{CSA} = \frac{6,5 \cdot 4000}{0,9555} = 27211 \text{ м}^2. \quad (4.3)$$

Перевіримо поверхню завантаження біофільтра за навантаженням на мул по ХСК [43].

Навантаження на мул по ХСК, виходячи з температури ферментації і типу стоку, для анаеробних біофільтрів приймаємо $V_x = 5 \text{ кг}_{\text{ХСК}} / \text{кг}_{\text{БВБ}}$.

$$V_x = \frac{Q_1 S_0}{M_x}, \quad (4.4)$$

де $M_x = V_{\text{БП}} X_2$ – маса активного мулу;

$V_{\text{БП}} = A^* \cdot \delta_{\text{пл}}$ – об'єм біоплівки;

A^* – площа поверхні біоплівки, приймаємо площу поверхні біоплівки рівною площі поверхні носія, отже $A^* = F_{\text{н.м.}}$;

$\delta_{\text{пл}} = 0,002 \text{ м}$ – товщина біоплівки;

X_2 – концентрація біомаси у біоплівці, приймаємо $X_2 = 25 \text{ кг}_{\text{ХСК}} / \text{м}^3$.

Тоді площу поверхні носія за навантаженням на мул знайдемо за формулою:

$$F_{\text{н.м.}} = \frac{Q_1 S_0}{V_x \delta_{\text{пл}} X_2} = \frac{4000 \cdot 6,5}{5 \cdot 0,002 \cdot 25} = 104000 \text{ м}^2. \quad (4.5)$$

Обираємо площу завантаження за навантаженням на мул. Однак, значення площі навантаження відповідає 2 реакторам. Отже замінюємо один реактор на 2 реактора, що працюють паралельно.

Тоді площа завантаження реактора $F \geq 52000 \text{ м}^2$.

Попередньо обираємо секцію завантаження з числом листів $n=220$ та розмірами листа $L \times H = 5\text{ м} \times 6\text{ м}$.

Загальна поверхня секції завантаження:

$$F_{\text{с.з.}} = 2 \cdot 220 \cdot 5 \cdot 6 = 13200 \text{ м}^2. \quad (4.6)$$

Тоді необхідна кількість секцій завантаження:

$$F \geq \frac{F_{\text{min}}}{F_{\text{с.з.}}} \geq \frac{52000}{13200} \geq 3,9. \quad (4.7)$$

Обираємо чотири секції, тоді площа поверхні завантаження дорівнює:

$$F = 4 \cdot 13200 = 52800 \text{ м}^2. \quad (4.8)$$

$$\frac{F - F_{\text{min}}}{F_{\text{min}}} \cdot 100\% = \frac{52800 - 52000}{52000} = 1,53\%.$$

На підставі виконаної перевірки, так як розходження площі поверхні завантаження і мінімальної необхідної площі поверхні біофільтра не перевищує 5%, корегування кількості секцій і кількості листів у секції біофільтра не потрібне.

Прийmemo відстань між пластинами завантаження $\delta = 0,02\text{ м}$. Товщина листа $\delta_{\text{л}} = 0,002\text{ м}$. Тоді робочий об'єм кожної секції:

$$V_{\text{pc}} = nLH\delta = 220 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 0,02 = 132 \text{ м}^3. \quad (4.9)$$

Загальний об'єм секції:

$$V_{\text{с}} = nLH(\delta + \delta_{\text{л}}) = 220 \cdot 5 \cdot 6 \cdot (0,02 + 0,001) = 138,6 \text{ м}^3. \quad (4.10)$$

Робочий об'єм біофільтра (без врахування об'єму перетоків):

$$V_{\text{p}} = 4V_{\text{pc}} = 4 \cdot 132 = 528 \text{ м}^3. \quad (4.11)$$

З врахуванням об'єму перетоків (приймаючи ширину перетоку 0,5 м):

$$V_{\text{p}}' = 4V_{\text{pc}} + 3V_{\text{п}} = 4 \cdot 132 + 3 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 6 = 573 \text{ м}^3. \quad (4.12)$$

Прийmemo ступінь заповнення 0,7. Тоді загальний об'єм реактора:

$$V = \frac{3V_{\text{с}} + 2V_{\text{п}}}{0,7} = \frac{4 \cdot 138,6 + 3 \cdot 0,5 \cdot 5 \cdot 6}{0,7} = 856 \text{ м}^3. \quad (4.13)$$

Час гідравлічного перебування за [19]:

$$\text{HRT} = \frac{24V_p}{Q} = \frac{24 \cdot 573}{2000} = 6,88 \text{ год.} \quad (4.14)$$

4.4.2 Матеріальний баланс

Розрахунок матеріального балансу проведемо за [23].

Розрахункова схема матеріального балансу представлена на рисунку 4.3.

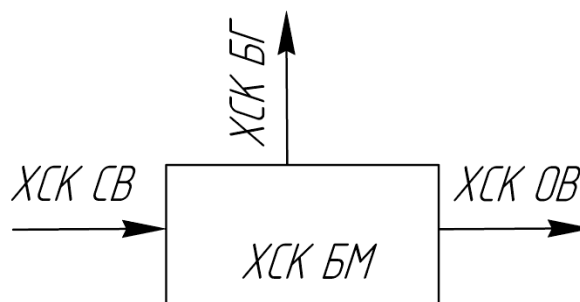


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема матеріального балансу:

ХСК СВ – кількість ХСК, що поступає у реактор зі стічною водою; ХСК ОВ – кількість ХСК, що відводиться з реактору з очищеною водою; ХСК БГ – кількість ХСК, яка перетворюється у біогаз; ХСК БМ – кількість ХСК, яка перетворюється у біомасу.

Матеріальний баланс за ХСК можна записати як:

$$Q_1 S_0 = r_a A * \delta_{пл} X_2 + Q_1 (S_0 - S_2) \cdot Y_{набл.} + Q_2 S_2, \quad (4.15)$$

де $Q_1 S_0$ – кількість ХСК, що поступає у реактор, кг;

$r_a A * \delta_{пл} X_2$ – кількість ХСК, перетвореного на біогаз, кг;

$Q_1 (S_0 - S_2) \cdot S_m$ – кількість ХСК, перетвореного на біомасу, кг;

$Q_2 S_2$ – ХСК стічної води на виході з реактору, кг;

S_2 – ХСК стоку на виході, $\text{кгO}_2 / \text{м}^3$, $S_2 = S_0(1 - E) = 6,5 \cdot (1 - 0,85) = 0,975$;

$Y_{набл.}$ – спостерігаємий приріст біомаси, приймаємо $Y_{набл.} = 0,1 \text{ кг}_{БМ} / \text{кг}_{ХСК}$

;

A^* – площа поверхні біоплівки, приймаємо рівною площі поверхні носія, $A^* = F = 52800 \text{ м}^2$. При розрахунку нехтуємо площею біоплівки, що наростає на стінках реактора, на перетинках перетоків, так як її значення набагато менше за значення площі біоплівки, що утримується на носіях завантаження.

Приймаємо [23] $Q_1 \approx Q_2$.

Тоді кількість ХСК, перетворена на біогаз складатиме:

$$M = Q_1 S_0 - Q_1 (S_0 - S_2) Y_{\text{набл.}} - Q_2 S_2 = 2000 \cdot 6,5 - 2000 \cdot (6,5 - 0,975) \cdot 0,1 - 2000 \cdot 0,975 = 9945 \text{ кг}_{\text{ХСК}}/\text{доба}.$$

Швидкість реакції перетворення субстрату у біогаз:

$$r_a = \frac{Q_1 S_0 - Q_1 (S_0 - S_2) Y_{\text{набл.}} - Q_2 S_2}{A^* \delta_{\text{пл}} X_2} = \frac{9945}{54000 \cdot 0,002 \cdot 25} = 3,68 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}).$$

Перевіримо швидкість реакції перетворення субстрату у біогаз через її максимальне значення. Максимальна швидкість перетворення субстрату у біогаз за [43]:

$$r_{a \text{ макс}} = \frac{\mu_{\text{макс}}}{Y_{\text{макс}}} \cdot \frac{S}{S + K_{S \text{ макс}}} \cdot X_2 = \frac{0,5}{0,3} \cdot \frac{0,02}{0,02 + 0,1} \cdot 25 = 6,94 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}). \quad (4.16)$$

де $\mu_{\text{макс}}$ – максимальна питома швидкість росту біомаси, доба^{-1} ;

$Y_{\text{макс}}$ – максимальний приріст біомаси, $\text{кг}_{\text{БМ}}/\text{кг}_{\text{ХСК}}$;

S – концентрація лімітуючого субстрату, за [23] приймаємо рівною концентрації органічних кислот;

$K_{S \text{ макс}}$ – постійна напівнасичення.

$$r_a < r_{a \text{ макс}} \quad \Leftrightarrow \quad 3,84 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}) < 6,94 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{ доба}).$$

Умова виконується.

Тоді кількість утвореного біогазу, з урахуванням того, що з 1кг знятої ХСК при 35°C [10] утворюється $0,39 \text{ м}^3$ біогазу:

$$V = 0,39M = 0,39 \cdot 9945 = 3879 \text{ м}^3/\text{доба}.$$

4.4.3 Розрахунок теплофізичних властивостей біогазу

Розрахуємо густину біогазу [24]. Компоненти отриманого біогазу представлений у таблиці 4.2. Так як вміст домішок у біогазі складає менше 5%, то для розрахунків теплофізичних властивостей, ми ними знехтуємо.

Таблиця 4.2 – Компоненти біогазу

Компонент біогазу	CH ₄	CO ₂
Об'ємна доля, v_i , %	64	36
Масова доля, ω_i , %	39,26	60,74

Проведемо розрахунок і запишемо результати у таблицю 4.3.

Густина біогазу становитиме:

$$\rho_{\text{бг}} = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot v_i = \rho_{\text{CH}_4} \cdot v_{\text{CH}_4} + \rho_{\text{CO}_2} \cdot v_{\text{CO}_2} = 1,16 \text{ кг / м}^3. \quad (4.17)$$

Питома теплоємність біогазу при постійному об'ємі становить:

$$c_{\text{бг}} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \omega_i = c_{\text{CH}_4} \cdot \omega_{\text{CH}_4} + c_{\text{CO}_2} \cdot \omega_{\text{CO}_2} = 2,073 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}. \quad (4.18)$$

Динамічна в'язкість біогазу дорівнює:

$$\mu = \frac{\mu_{\text{CH}_4}}{1 + \frac{1}{v_{\text{CH}_4}} \cdot v_{\text{CO}_2} A_{1,2}} + \frac{\mu_{\text{CO}_2}}{1 + \frac{1}{v_{\text{CO}_2}} \cdot v_{\text{CH}_4} A_{2,1}} = 1,38 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}. \quad (4.19)$$

Теплопровідність суміші газів дорівнює:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{бг}} &= \frac{\lambda_{\text{CH}_4} \omega_{\text{CH}_4}}{\omega_{\text{CH}_4} + \omega_{\text{CO}_2} \Psi_{\text{CH}_4-\text{CO}_2}} + \frac{\lambda_{\text{CO}_2} \omega_{\text{CO}_2}}{\omega_{\text{CO}_2} + \omega_{\text{CH}_4} \Psi_{\text{CO}_2-\text{CH}_4}} = \frac{35,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,39}{0,39 + 0,61 \cdot 0,49} + \frac{17,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,61}{0,61 + 0,39 \cdot 1,82} = \\ &= 28,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}. \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$\Psi_{i,j} = \frac{M_i / M_j}{\sqrt{8} \cdot (1 + M_i / M_j)^{0,5}} \cdot \left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{M_j}{M_i} \right)^{0,25} \right]^2 \quad (4.21)$$

$$\Psi_{\text{CH}_4-\text{CO}_2} = 0,49; \quad \Psi_{\text{CO}_2-\text{CH}_4} = 1,82.$$

Таблиця 4.3 – Теплофізичні властивості біогазу

	ρ , кг / м ³	c , Дж / (кг · К)	$\mu \cdot 10^5$, Па · с	$\lambda \cdot 10^3$, Вт / (м · К)
Біогаз	1,16	2,073	1,38	28,2

4.4.4 Перевірка швидкості потоку рідини у біофільтрі

Умова нормального перетікання процесу:

$$w_{\text{cp}} < [w_{\text{cp}}], \quad (4.22)$$

$$\text{де } [w_{\text{cp}}] = 0,06 \text{ м / с}$$

Стічна вода, протікаючи по реактору, проходить шлях, рівний 5Н завантаження, тобто 30м. З врахуванням фактичного часу перебування $\text{HRT} = 6,65$ год, середня швидкість рідини:

$$w_{\text{cp}} = \frac{7\text{H}}{\text{HRT}} = \frac{42}{3600 \cdot 6,88} = 0,0017 \text{ м/с}. \quad (4.23)$$

Умова виконується:

$$w_{\text{cp}} < [w_{\text{cp}}] \quad \Leftrightarrow \quad 0,0017 \frac{\text{м}}{\text{с}} < 0,06 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Швидкість рідини в перетоці:

$$w_{\text{пер.}} = \frac{Q_1}{24 \cdot 3600 S_{\text{пер}}} = \frac{2000}{24 \cdot 3600 \cdot 5 \cdot 0,5} = 0,009 \text{ м/с}. \quad (4.24)$$

Швидкість рідини між пластинами реакційної зони:

$$w_{\text{сек.}} = \frac{Q_1}{24 \cdot 3600 S_{\text{сек}}} = \frac{2000}{24 \cdot 3600 \cdot 5 \cdot 6} = 0,0008 \text{ м/с}. \quad (4.24)$$

4.4.5 Тепловий розрахунок біофільтру

4.4.5.1 Тепловий баланс

Розрахункова схема теплового балансу біофільтру представлена на рисунку 4.4.

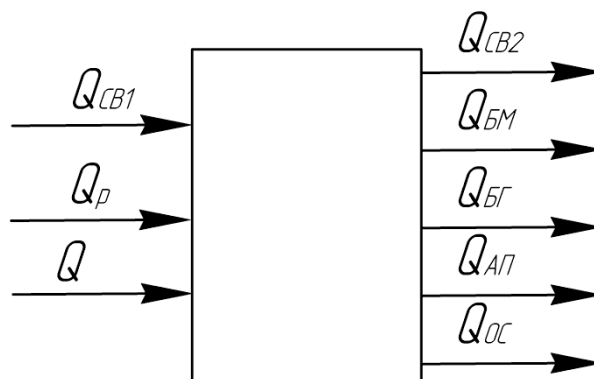


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема теплового балансу біофільтру:

$Q_{св1}$ – кількість теплоти, що вноситься у біофільтр з стічною водою;

Q_p – теплота реакції розкладання органічних забруднень і синтезу біогазу;

Q – теплота, що підводиться до біофільтру за допомогою теплообмінних пристроїв; $Q_{св2}$ – теплота, що втрачається з відводом відпрацьованої стічної води; $Q_{БМ}$ – теплота, що втрачається з винесеним мулом; $Q_{БГ}$ – теплота, що втрачається з утвореним біогазом; $Q_{ап}$ – теплота, що йде на нагрівання апарату; $Q_{ог}$ – теплота, що витрачається у навколишнє середовище.

Рівняння теплового балансу запишемо, як:

$$Q_{св1} + Q_p + Q = Q_{ап} + Q_{БГ} + Q_{БМ} + Q_{св2} + Q_{ог}, \quad (4.25)$$

де:

$Q_{св1}$ – кількість теплоти, що вноситься у біофільтр з стічною водою:

$$Q_{св1} = c_v \cdot G_{св1} \cdot t = 4180 \cdot \frac{2000}{3600 \cdot 24} \cdot 10^3 \cdot 308 = 29801852 \text{ Вт.}; \quad (4.26)$$

$Q_{\text{ап}}$ – кількість теплоти, що йде на нагрівання апарату:

$$Q_{\text{ап}} = c_{\text{ап}} m_{\text{ап}} (t_{\text{пр}} - t_{\text{анн}}) = \frac{462 \cdot 40000 \cdot (35 - 20)}{24 \cdot 3600} = 3208 \text{ Вт}; \quad (4.27)$$

$Q_{\text{р}}$ – теплота реакції розкладання органічних забруднень і синтезу біогазу. Визначимо її з загальної теплоти реакції. Реакція мікробного розкладу органічної речовини стічної води є екзотермічною, за даними [25] на 1 моль утвореного біогазу виділяється 106845 Дж енергії. Розрахуємо кількість речовини біогазу:

$$v_{\text{БГ}} = \frac{m_{\text{БГ}}}{0,64M_{\text{CH}_4} + 0,34M_{\text{CO}_2}} = \frac{3879 \cdot 1,19 \cdot 10^3}{3600 \cdot 24 \cdot (0,64 \cdot 16 + 0,34 \cdot 44)} = 2,12 \text{ моль}_{\text{БГ}}/\text{с}. \quad (4.28)$$

Тоді:

$$Q_{\text{р}} = 106845 v_{\text{БГ}} = 106845 \cdot 2,12 = 226511 \text{ Вт}; \quad (4.29)$$

$Q_{\text{БГ}}$ – кількість теплоти, що втрачається з утвореним біогазом:

$$Q_{\text{БГ}} = c_{\text{БГ}} \cdot G_{\text{БГ}} \cdot t = 2,024 \cdot \frac{3879 \cdot 1,19}{3600 \cdot 24} \cdot 308 = 329 \text{ Вт}. \quad (4.30)$$

$Q_{\text{СВ2}}$ – кількість теплоти, що втрачається з відводом відпрацьованої стічної води:

$$Q_{\text{СВ2}} = c_{\text{в}} \cdot G_{\text{СВ2}} \cdot t = 4180 \cdot \frac{2000}{3600 \cdot 24} \cdot 10^3 \cdot 308 = 29801852 \text{ Вт}. \quad (4.31)$$

Кількість теплоти, що втрачається з винесеним мулом (приймаючи за [23] кількість мулу, що виноситься з апарату, 10% від загальної кількості біомаси у біофільтрі):

$$Q_{\text{БМ}} = c_{\text{м}} \delta_{\text{м}} A * C_{\text{м}} t = 0,1 \cdot 4190 \cdot 0,002 \cdot 52800 \cdot 0,25 \cdot 308 = 3406973 \text{ Вт}. \quad (4.32)$$

Кількість теплоти, що витрачається у навколишнє середовище, складає 3–5% від загальної втрати теплоти, тому:

$$Q_{\text{НС}} = 0,05(Q_{\text{ап}} + Q_{\text{БГ}} + Q_{\text{БМ}} + Q_{\text{СВ2}}). \quad (4.33)$$

Тоді кількість теплоти, яку необхідно підвести за рахунок теплообмінних пристроїв:

$$Q = 1,05(Q_{\text{ан}} + Q_{\text{БГ}} + Q_{\text{БМ}} + Q_{\text{СВ2}}) - Q_{\text{СВ1}} - Q_{\text{р}} = 1,05 \cdot (3208 + 329 + 3406973 + 29801852) - 29801852 - 2491636 = 16453777 \text{ Вт} = 1645,4 \cdot 10^3 \text{ Вт} \quad (4.34)$$

4.4.5.2 Тепловий розрахунок процесу нагрівання у біофільтрі

Розрахунок проводимо за методикою [26].

Витрата теплоносія в змійовиках з умови перепаду температур теплоносія $\Delta t = 10 \text{ К}$ становить тоді:

$$G_{\text{взм}} = \frac{Q}{c_{\text{в}} \cdot \Delta t} = \frac{1645377}{4200 \cdot 10} = 39,2 \text{ кг/с}. \quad (4.35)$$

Середній перепад температур у біофільтрі:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{64 - 52}{\ln \frac{64}{52}} = 55,8 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (4.36)$$

де $\Delta t_{\text{г}} = 95 - 33 = 62 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і $\Delta t_{\text{м}} = 85 - 35 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Орієнтовний коефіцієнт теплопередачі в умовах, де $Re > 10^4$ буде $K \approx 700 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Тоді орієнтовна площа поверхні змійовика, виходячи з основного рівняння теплопередачі:

$$F_{\text{зм}} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{1645377}{700 \cdot 55,8} = 42,1 \text{ м}^2. \quad (4.37)$$

Змійовик у біофільтрі розміщується паралельно площині розділювальної перегородки на всю її ширину і висоту. Попередньо прийmemo кількість витків змійовиків 3 (рисунок 4.5).

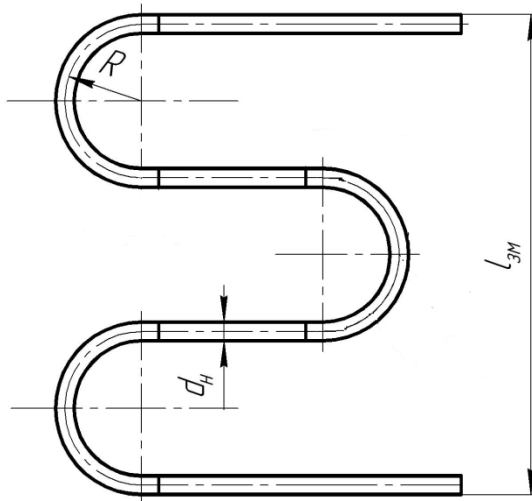


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема змійовика

Тоді попередньо розрахуємо довжину труби змійовика з умови, що висота змійовика 6м, ширина 4м, $R = 1\text{ м}$ і тоді:

$$L_{\text{зм}} = 4 + 2 + 3\pi = 15,42\text{ м} \cdot \quad (4.38)$$

У кожному перетоці планується монтувати по 2 змійовика, отже загальну площу змійовиків можна виразити як:

$$F_{\text{зм}} = 6L_{\text{зм}} \pi d_{\text{зм}}, \quad (4.39)$$

Звідки :

$$d_{\text{зм}} = \frac{F}{6\pi L_{\text{зм}}} = \frac{42,1}{6 \cdot 3,14 \cdot 15,42} = 0,145\text{ м}. \quad (4.40)$$

Обираємо змійовик з трубами $d_{\text{зм}} \times s_{\text{зм}} = 165 \times 4,5$ мм, умовний прохід труби $d_{\text{узм}} = 150\text{ мм}$ [19]. Тоді площа поверхні змійовиків:

$$F_{\text{зм}} = 3L_{\text{зм}} \pi d_{\text{зм}} = 6 \cdot 15,42 \cdot 3,14 \cdot 0,1615 = 46,9\text{ м}^2.$$

Швидкість потоку рідини:

$$w_{\text{зм}} = \frac{G_{\text{взм}}}{\rho \cdot f_{\text{зм}}} = \frac{4 \cdot G_{\text{взм}}}{\rho \cdot \pi \cdot d_{\text{узм}}^2} = \frac{4 \cdot 39,2}{3 \cdot 965 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2} = 0,767 \text{ м / с}. \quad (4.41)$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_{\text{зм}} \cdot d_{\text{зм}} \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,767 \cdot 0,15 \cdot 965}{0,315 \cdot 10^{-3}} = 352284. \quad (4.42)$$

Критерій Прандтля для води у змійовиках при 90°C:

$$Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = \frac{4200 \cdot 0,315 \cdot 10^{-3}}{0,68} = 1,95. \quad (4.43)$$

Критерій Нуссельта:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 0,023 \cdot 352284^{0,8} \cdot 1,95^{0,4} = 823. \quad (4.44)$$

Коефіцієнт передачі від гарячої води до стічної води:

$$\alpha_{13M} = \frac{Nu_{13M} \cdot \lambda}{d_{3M}} = \frac{823 \cdot 0,68}{0,15} = 3730 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (4.45)$$

Швидкість руху стічної води у перетоках:

$$w_{\text{пер.}} = 0,012 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для стічної води:

$$Re_{\text{св}} = \frac{w_{\text{св}} \cdot d_{\text{св}} \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,012 \cdot 0,165 \cdot 995}{0,76 \cdot 10^{-3}} = 2592. \quad (4.46)$$

Критерій Прандтля для стічної води при 35°C:

$$Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = \frac{4180 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3}}{0,62} = 5,12. \quad (4.47)$$

Критерій Нуссельта:

$$Nu = 1,01 \cdot Re^{0,62} \cdot Pr^{0,33} = 1,01 \cdot 2592^{0,62} \cdot 5,12^{0,33} = 226. \quad (4.48)$$

Коефіцієнт передачі від гарячої води до стічної води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda}{d} = \frac{226 \cdot 0,62}{0,165} = 850 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (4.49)$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{13M}} + \frac{\delta_{3M}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3730} + \frac{0,0045}{46,5} + \frac{1}{850}} = 649 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \quad (4.50)$$

Тоді поверхня теплообміну становить:

$$F_{3M} = \frac{Q}{K_{3M} \cdot \Delta t} = \frac{1645377}{649 \cdot 55,8} = 45,3 \text{ м}^2. \quad (4.51)$$

$$\frac{46,9 - 45,3}{45,3} \cdot 100\% = 3,5\% < 5\%, \text{ отже перерахунок змійовиків не робимо.}$$

4.4.6 Конструктивний розрахунок біофільтра

4.4.6.1 Конструктивний розрахунок завантаження

У корпусі біофільтра встановлюється чотири секції завантаження, на яких розташовані полімерні листи (рисунок 4.6)

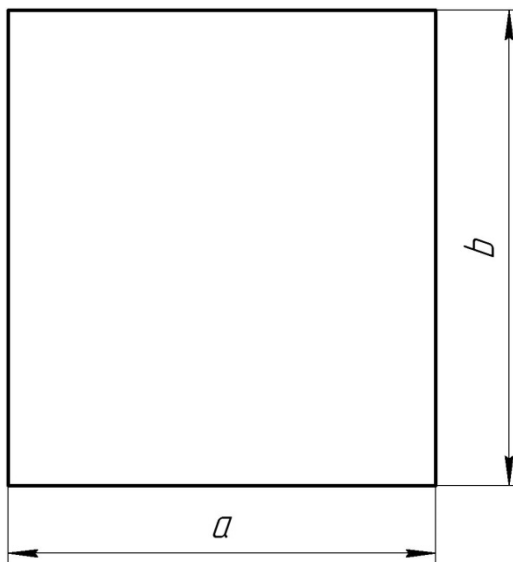


Рисунок 4.6 – Конструктивна схема листа завантаження

Розміри листа: $a = 5,0$ м; $b = 6,0$ м.

Поверхня одного листа завантаження з урахуванням того, що біоплівка утворюється з обох сторін листа:

$$F_{\text{л}} = 2 \cdot 5 \cdot 6 = 60 \text{ м}^2. \quad (4.56)$$

Загальна поверхня завантаження:

$$F = 3 \cdot N \cdot F_{\text{л}} = 4 \cdot 220 \cdot 60 = 52800 \text{ м}^2. \quad (4.57)$$

Тоді довжина блоку листів секції завантаження за умовою, що кількість листів $N=220$, товщина листа $\delta_{\text{л}} = 1$ мм, відстань між листами $\delta = 20$ мм :

$$l_{\text{с}} = (N - 1)(\delta + \delta_{\text{л}}) = 219 \cdot 0,021 = 4,6 \text{ м}. \quad (4.58)$$

Приймаємо відстань між крайніми листами завантаження та перегородками біофільтра, що відокремлюють простір секції $l = 20$ см. Тоді довжина реакційної секції ≈ 5 м, з урахуванням того, що довжина перетоків

0,5м, товщина перетинок між секціями 0,004м, товщина стінок апарату 0,01мм, то довжина апарату:

$$L_a = 4 \cdot l_c + 3 \cdot l_{\text{перетока}} + 6\delta_{\text{перетинок}} + 2\delta_{\text{ст}} = 4 \cdot 5 + 3 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,004 + 2 \cdot 0,01 = 21,544\text{м.} \quad (4.59)$$

Ступінь заповнення біофільтра $\varphi = 0,7$ Тоді уточнимо загальним об'єм біофільтра:

$$V = \frac{L_p H_p b_p}{\varphi} = \frac{21,544 \cdot 6 \cdot 5}{0,7} = 923\text{м}^3. \quad (4.60)$$

4.4.6.2 Конструктивний розрахунок змійовика

Згідно теплового розрахунку обрані розміри труб змійовика (рисунок 4.7): $d_3 \times s_{\text{тр}} = 165 \times 4,5$.

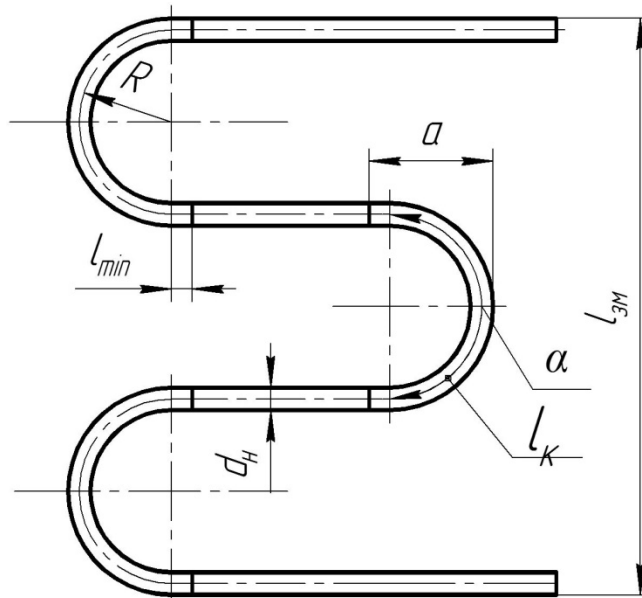


Рисунок 4.7 – Конструктивна схема змійовика

Змійовик у біофільтрі розміщується паралельно площині розділювальної перегородки на всю її ширину і висоту. Кількість витків змійовика 3 (рисунок 4.3).

Довжина труби зміювика за умови, що висота зміювика 6м, ширина 4м, $R = 1\text{м}$:

$$L_{\text{зм}} = 4 + 2 + 3\pi = 15,42\text{м} \cdot \quad (4.52)$$

У кожному переточі планується монтувати по 2 зміювика, отже загальну площу зміювиків можна виразити як:

За [46] радіус згину зміювика повинен відповідати умові:

$$R \geq 4d_3, \quad (4.53)$$

де R – радіус згину зміювика.

В нашому випадку умова виконується: $1 > 0,6$.

Довжину зігнутої частини труби визначають за формулою:

$$l_k = \frac{\pi\alpha}{180} \cdot \left(R + \frac{d_3}{2} \right) = \frac{3,14 \cdot 180}{180} \cdot \left(1 + \frac{0,15}{2} \right) = 3,37 \text{ м}, \quad (4.54)$$

де d_3 – зовнішній діаметр труби зміювика.

Найменша довжини прямої ділянки труби, необхідна для фіксування кінця труби при згині обирається за ГОСТ 3262-75 і дорівнює $l_{\text{min}} = 200$ мм.

Згідно технологічного розрахунку зміювик біофільтра містить три коліна. Тому довжина $l_{\text{зм}}$ становить:

$$l_{\text{зм}} = 6\text{м}. \quad (4.55)$$

4.4.7 Гідравлічний розрахунок біофільтра

За [28] знайдемо втрати тиску рідини в апараті:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{н}}. \quad (4.61)$$

де $\Delta p_{\text{тр}}$ – втрати тиску через тертя о стінки каналів завантаження, Па;

$\Delta p_{\text{н}}$ – втрати тиску на підняття рідини, Па;

$$\Delta p_{\text{тр}} = \tau \frac{\Pi}{S} l, \quad (4.62)$$

де τ – дотичне напруження на стінці, $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$;

Π – змочений периметр каналу, м;

S – площа перетину каналу, м²;

l – довжина каналу, м.

$$\tau = \frac{\lambda_{\text{тр}} \rho_{\text{СВ}} W_{\text{ср}}^2}{8} \quad (4.63)$$

де $\lambda_{\text{тр}}$ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \left(\frac{10}{\text{Re}_{\text{ж}}} + 1,16 \frac{\Delta}{d_e} \right)^{0,25}. \quad (4.64)$$

де $\text{Re}_{\text{ж}}$ – число Рейнольдса рідини;

d_e – еквівалентний діаметр каналу, м.

Δ – шорсткість поверхні біоплівки, м;

Приймаємо $\Delta = 0,0005\text{м}$.

Для каналу, утвореного листами завантаження:

$$d_{e1} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 0,02}{2(4 + 0,02)} = 0,04\text{м}. \quad (4.65)$$

$$\text{Re}_{\text{ж1}} = \frac{0,002 \cdot 0,04}{0,8 \cdot 10^{-6}} = 100. \quad (4.66)$$

$$\lambda_{\text{тр1}} = 0,11 \left(\frac{10}{100} + 1,16 \frac{0,0005}{0,04} \right)^{0,25} = 0,062. \quad (4.67)$$

$$\tau_1 = \frac{0,062 \cdot 1000 \cdot 0,002^2}{8} = 3,1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}. \quad (4.68)$$

$$\Delta p_{\text{тр1}} = 3,1 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{2(4 + 0,02)}{4 \cdot 0,02} 6 = 0,019\text{Па}. \quad (4.69)$$

З урахуванням, що кожна секція має N-1 канал, число секцій 4, то втрати опору у блоках завантаження:

$$\Delta p_{\text{трз}} = 0,019 \cdot (270 - 1) \cdot 4 = 20,1\text{Па}. \quad (4.70)$$

Для перетоків:

$$d_{e1\text{пер.}} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 0,5}{2(4 + 0,5)} = 0,89\text{м}. \quad (4.71)$$

$$\text{Re}_{\text{ж1пер.}} = \frac{0,012 \cdot 0,89}{0,8 \cdot 10^{-6}} = 13350. \quad (4.72)$$

$$\lambda_{\text{тр1пер.}} = 0,11 \left(\frac{10}{13350} + 1,16 \frac{0,0005}{0,89} \right)^{0,25} = 0,011. \quad (4.73)$$

$$\tau_{\text{1пер.}} = \frac{0,011 \cdot 1000 \cdot 0,012^2}{8} = 1,98 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}. \quad (4.74)$$

$$\Delta p_{\text{тр1пер.}} = 1,98 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2(4+0,5)}{4 \cdot 0,5} 6 = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{Па}. \quad (4.75)$$

З урахуванням, що число перетоків 3:

$$\Delta p_{\text{трпер.}} = 35,3 \cdot 10^{-3} = 0,016 \text{Па}. \quad (4.76)$$

Так як рідину треба підняти на висоту 6 метрів 4 рази (за числом секцій біофільтра), то:

$$\Delta p_{\text{Н}} = 4 \rho_{\text{ж}} g H = 4 \cdot 58860 = 235440 \text{Па}. \quad (4.77)$$

Тоді загальні втрати тиску:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{трз}} + \Delta p_{\text{трпер}} + \Delta p_{\text{Н}} = 235460 \text{Па}. \quad (4.78)$$

4.5 Рекомендації з ремонту, монтажу та експлуатації

4.5.1 Компоновка та монтаж

Складальні роботи з монтажу полягають в установці апаратів на металоконструкції, установці і приєднанні допоміжного устаткування, приєднання трубопроводів, деталей вузлів підведення і відводу продуктів, установці приладів теплового контролю й автоматичного регулювання. У процесі монтажу виявляються й усуваються дефекти конструкції і виготовлення апаратури. Одночасно здійснюється налагодження роботи апарата з метою підготовки до експлуатації.

Проектом виробництва монтажних-складальних робіт передбачається наступна послідовність операцій зборки:

- установка корпусу апарата на металоконструкцію;
- установка елементів, що знаходяться усередині апарата;
- припасування і приєднання всіх трубопроводів;
- установка арматури і контрольно-вимірювальних приладів;
- герметизація місць з'єднання апарата (кришок, фланців і т.д.);
- приєднання допоміжних механізмів і пристроїв;
- установка огорожень;
- випробування апарата на герметичність і здача інженеру Держтехнагляду;
- пробна експлуатація установка;
- проведення теплоізоляційних робіт (якщо потрібно);
- здача установки в експлуатацію.

4.5.2 Випробування

Після закінчення монтажно-збиральних робіт апарат має неодмінно пройти випробування. Спочатку проводять підготовчі роботи, пов'язані з оглядом та перевіркою стану всіх частин та вузлів апарата.

При цьому особливу увагу необхідно звернути на присутність в конструкції арматури, приладів, кришок, заглушок, болтів, прокладок та інших деталей, які забезпечують герметичність системи.

В програму випробувань входить гідравлічне та пневматичне випробування апарата разом з трубопроводами на тиск, який вказаний на кресленні. При випробуваннях виявляють герметичність та надійність роботи

вентилів, кранів, клапанів та іншої арматури, а також щільність всіх роз'ємних з'єднань.

Підготовка апарата до експлуатації включає перевірку витрат теплоносіїв, температур теплоносіїв на вході та на виході з апарату, тиск всередині апарата та в трубопроводі. При цьому слід звернути увагу на легкість та надійність управління технологічним процесом.

Результати випробувань виявляють дефекти та недоліки, які заносять в акт випробувань на конкретно взятий апарат.

Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажної організації та замовника.

4.5.3 Вимоги до експлуатації апарату

Для дотримання правильного експлуатаційного режиму установки необхідні:

- справність і безперебійність роботи устаткування;
- високий рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- забезпечення необхідними видами енергії і раціональна її витрата.

Для безперебійної роботи устаткування необхідний:

- достатній резерв основного і допоміжного устаткування і дотримання правил технічної експлуатації;
- своєчасне виконання планово-попереджувальних ремонтів устаткування і наявність запасних частин для вузлів і деталей, які швидко зношуються.

4.6 Висновки

1. Особливістю розробленого апарату є те, що така конструкція сприяє якісному закріпленню мікрофлори на поверхні носія, суспендовані клітини знаходяться у незначній кількості і, як наслідок, зменшується винесення активної біомаси з біофільтра.
2. Проведені розрахунки теплового та матеріального балансу, конструктивний розрахунок апарата, визначені основні габаритні розміри та максимальні напруження в апараті.
3. Розраховані геометричні розміри складальних одиниць апарату. Визначені матеріали, з яких виготовляється апарат.
4. Надані рекомендації з монтажу та експлуатації
5. Отримані результати задовольняють необхідні робочі умови.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Резюме

Бізнес ідея: ідея розвитку.

Мета наукової розробки: зниження собівартості за рахунок зменшення габаритних розмір апарату та збільшення поверхні завантаження при збільшеній продуктивності очистки стічних вод.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники (для заданих параметрів).

Об'єм	923 м ³
Робочий тиск	0,1 МПа
Температура	<ul style="list-style-type: none">• середовища 37 °С,• теплоносія на вході 95°С,• теплоносія на виході 85°С,
Поверхня теплообміну	45,3 м ²
Поверхня завантаження	52 800 м ²
Габаритні розміри: довжина	<ul style="list-style-type: none">• довжина 22770 мм,• ширина 5780 мм,• висота 12000мм.

Тема: Модернізація анаеробного біофільтра.

Назва: Анаеробний біофільтр.

Суб'єкт замовлення: юридична, фізична особа або фізична особа підприємця.

Об'єкт дослідження: інноваційна продукція (запатентована конструкція анаеробного біофільтру).

Місце розробки в інноваційному ланцюжку цінності: ідея розвитку.

Плановий обсяг впровадження технологічної лінії: для впровадження достатньо замінити звичайний анаеробний біофільтр на запропоновану нову конструкцію секційного біофільтру. Час заміни варіюється в межах від 4-5 днів. Можлива заміна апарату на лінії у період планових ремонтів.

Продукт: отримання більшої кількості вихідного продукту за рахунок інтенсифікації процесу зброджування спричиненого новою конструкцією біофільтру.

Технологія: конструкція секції анаеробного біофільтру для біологічної очистки стічних вод анаеробним методом.

Достатність сировинної бази: для виготовлення анаеробного біофільтру використовується сталь 16ГС ГОСТ 19281- 89 (діапазон цін 20-33 грн/кг: середня ціна за 1 кілограм 26 грн). Вона є конструкційною низколегованою сталлю для зварних конструкцій, яка не вступає в реакцію з стічною водою, що очищається. Сталь 16ГС ГОСТ 19281- 89 виготовляється в достатній кількості і постійно присутня на ринку. Також має ряд аналогів як в Україні та і в країнах Європи (17ГС, 15ГС, 20Г2С, 20ГС, 18Г2С).

Кваліфікація персоналу: всі категорії персоналу (спеціалісти, службовці, робітники)

Ринок збуту:

Виробники біореакторів:

Таблиця 5.2 – Виробники біореакторів.

Назва компанії	Країна
Amering technologies	Індія
Andel equipment	Індія
Applikon	Нідерланди
Aroko Bio Engineering Co.	Іран
Bioforce	Малайзія
BBI – Biotech	Німеччина
B. E. Marubishi	Японія
Bailun Biotechnology	Китай
Bioengineering	Швейцарія
Bioprocess Technology	Іспанія
Biotehniskais centrs	Латвія
Biotron	Південна Корея
Eppendorf	Німеччина
Fermentec	Південна Корея
Fermetec resources	Малайзія
Heinrich Frings	Німеччина
Infors	Швейцарія
Novaferm	Швеція

Pierre Guerin	Франція
Soaround fermentor	Китай
Solaris	Італія
Techniserv	США
Zeta	Австрія

Конкурентні переваги: запропонована конструкція дозволяє збільшити темпи очистки стічних вод та гарантує високу якість води очищеної та високу продуктивність апарату, а також дозволяє використати біогаз, як додаткове джерело енергії.

5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища підприємства

Таблиця 5.3 – Можливості і загрози зовнішнього середовища.

Можливості	Загрози
Науково-технічний прогрес	
<ul style="list-style-type: none"> • Високо-кваліфіковані професіонали • швидка реалізація ідеї • заохочення наукових розробок провідними фірмами галузі 	<ul style="list-style-type: none"> • Низький рівень науково-технічного прогресу в Україні • не високий рівень освіти (низька матеріальна база, недостача практичних навичок)
Географія	
<ul style="list-style-type: none"> • Через розташування у столиці про підприємство знатиме більша кіль- 	<ul style="list-style-type: none"> • Заробітна плата у Києві є вищою, ніж в регіонах

<p>кiсть потенційних покупців, можливість проведення екскурсій по виробництву.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Конкуренція із продукцією країн-сусідів
<p>Економіка</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Вітчизняне обладнання більш дешево, ніж імпордне, що не означає менш якісне. • Транспортування в межах країни не є дорогим. 	<ul style="list-style-type: none"> • Через фінансову кризу потенційні покупці можуть бути фінансово неготові до переоблад- нання своїх підприємств. • високий рівень інфляції (додаткові витрати при співпраці з іноземними партнерами)
<p>Політика</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • інтеграція і можливість виходу на світовий ринок, • Держава зацікавлена у розвитку промисловості. 	<ul style="list-style-type: none"> • політична нестабільність (відсутність можливості вибудо- увати систему зв'язків з зовніш- нім середовищем) • Довга процедура отримання необхідних сертифікатів на виго- товлення обладнання.
<p>Демографія культури</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Нові робочі місця, що позитивно вплине на картину безробіття у країні. 	<ul style="list-style-type: none"> • консерватизм і настороженість до нових розробок • низький рівень життя

Таблиця 5.4 – Переваги і недоліки внутрішнього середовища.

Переваги	Недоліки
Постачальник	
Великий вибір постачальників сировини для виготовлення обладнання в Україні	Підвищення ціни на сировину
Стандартні миючі та дезинфікуючі засоби	Складнощі з транспортуванням імпортової сировини
Виробництво	
Отримання додаткового джерела енергії – у вигляді біогазу.	Висока кваліфікація персоналу
Очистка води і передача її на інші етапи виробництва.	Витрати на ремонті та оновлення основних фондів
Конкуренти	
Перехід від конкурентів за рахунок нового технічного рішення	Недовіра до нового продукту
НТП в біотехнологічній галузі	Світова конкуренція з іншими країнами
Покупка іншими компаніями прав на використання інновації.	При покупці іншими підприємства прав на використання інновації зменшення ринку збуту.
Споживачі	
Широкий ринок збуту, завжди є	Не всі довіряють новому продукту

підприємства, які зацікавлені в продукції.	на ринку
Високий рівень автоматизації	Витрати на рекламу
Посередники	
Можлива реклама через посередників	Посередники збільшують ціну продукції.
Можливість поширення як готового продукту так і сировини	Старі посередники можуть відмовитися працювати з новим товаром

Аналіз потенційного ринку збуту і конкурентного середовища за методом квадрату Бове

Для аналізу конкурентного середовища за методом квадрату Бове обрано наступні підприємства-конкуренти:

1. *ТОВ Креатив-Агромаш (Київ)*
2. *ТОВ Стеллар(Київ)*
3. *ТОВ КРАПТ (Коростень)*
4. *Інновація*

Таблиця 5.5 – Конкурентне середовище.

<i>ТОВ Креатив-Агромаш (Київ)</i>	<i>ТОВ Стеллар(Київ)</i>
<i><u>Інновація</u></i>	<i>ТОВ КРАПТ (Коростень)</i>

За методом квадрату Бове запропоновану інженерну розробку можна віднести до зони “Готові обійти”, тому що завдяки інноваційній ідеї розробка може конкурувати з лідерами на ринку.

Місце розробки у системі цінностей підприємства за методом Бостонської матриці

Таблиця 5.6 – Метод БКГ.

Підприємство	Обсяг реалізації, грн	Обсяг прибутку, грн
ТОВ Креатив-Агромаш	12 000 000	6 000 000
ТОВ Стеллар	9 000 000	4 000 000
ТОВ КРАПТ	4 800 000	3 500 000
Інновація	10 000 000	4 000 000
Разом	35 800 000	17 500 000

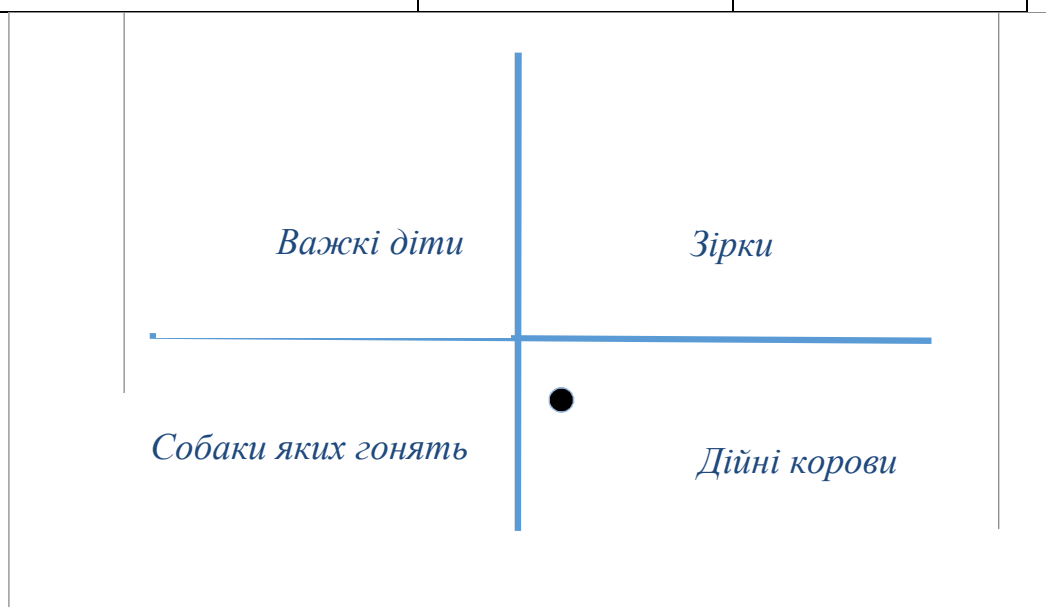


Рисунок 5.1 – Бостонська матриця.

Отже, за результатом аналізу за методом Бостонської матриці видно, що запропонована *Інновація* знаходиться в зоні “Дійні корови”. Отже, підприємство знаходиться на зростаючому ринку, але вимагає інвестиційних вкладень для збільшення конкурентоспроможності, перспективним товаром.

5.3 Методом Шонфільда визначити ключові фактори успіху проекту

Таблиця 5.7 – Порівняння за методом Шонфільда.

			Бали	
п/п	Показники	Коефіцієнт важливості	Біофільтр НК (1)	Біофільтр АК (2)
1	Поверхня навантаження	0,4	5	4
2	Ціна	0,2	5	4
3	Робочий тиск	0,1	5	5
4	Габаритні розміри	0,1	5	4
5	Діапазон робочих температур	0,2	5	4
	Σ		4,8	4,1

Біофільтр НК (1) – біофільтр нова конструкція,

Біофільтр АК (2) – біофільтр аналогова конструкція.

$$\Sigma_1 = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 = 5,0,$$

$$\Sigma_2 = 4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 = 4,1.$$

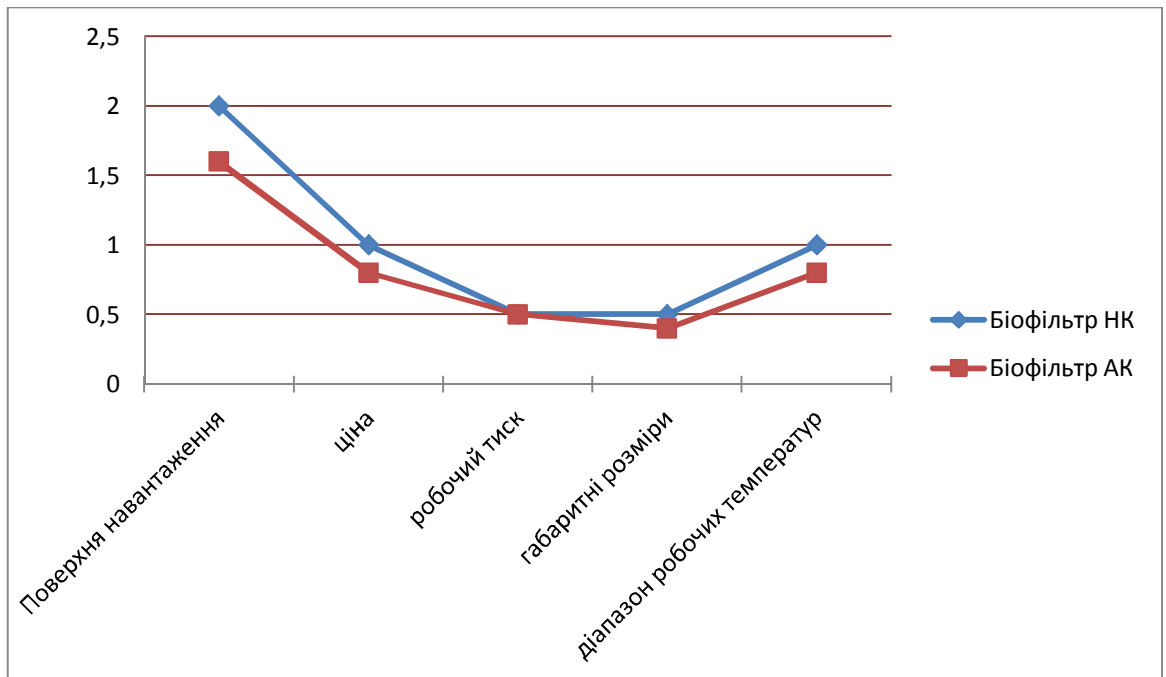


Рисунок 5.2 – Діаграма Шонфільда.

Можна зробити висновок, що біофільтр нової конструкції має суттєво вищі показники у порівнянні з найближчим аналогом. Ключовими факторами для успішної реалізації проекту виступають якісні характеристики удосконаленої конструкції біофільтру, такі як:

- поверхня навантаження;
- ціна
- діапазон робочих температур.

Анкета для споживачів

1. Де ви отримуєте інформацію про необхідне вам обладнання?

2. Які показники біофільтра для вас найбільш важливі?

3. Чи доступна для Вас інформація про нашу продукцію?

4. Чи купували Ви обладнання подібного призначення?

5. Яка продуктивність біофільтра Вам необхідна?

6. Чи необхідна безперервна подача стічної води на очисні споруди?

А) Так

Б) Ні

7. Що дозволило б Вам збільшити обсяг закупівель?

А) Введення додаткових знижок

Б) Зниження ціни продукції

В) Розширення номенклатури виробленої продукції

Г) Зменшення часу виконання замовлення

8. Чи необхідна Вам допомога з монтажем конструкції?

А) Так

Б) Ні

9. Чи зможете Ви виконати майбутні зовнішні замовлення з урахуванням виробничих потужностей та завантаженості підприємства?

А) Так

Б) Ні

10. Ваші побажання та зауваження

5.4 Оцінка ринкових позицій

5.4.1 Договір

Договір №36

на виконання науково-дослідних робіт

м. Київ

"18" листопада 2018 року

Предмет договору

1.1. Замовник доручає, а Виконавець бере на себе зобов'язання з виконання науково-дослідної роботи на тему "Модернізація анаеробного біофільтра", а Замовник зобов'язується прийняти виконану роботу та оплатити її.

1.2. Наукові, економічні та інші вимоги до науково-дослідної продукції, яка є результатом виконання предмета цього Договору, викладені у Технічному завданні на науково-дослідну роботу (додаток 1), що є невід'ємною частиною цього Договору.

1.3. Використання результатів науково-дослідної роботи Виконавцем може провадитись лише за письмовим погодженням Замовника. Використовуючи результати науково-дослідної роботи Виконавець зобов'язаний зазначити, що робота виконувалась за рахунок коштів Державного бюджету України.

2. Ціна Договору та порядок розрахунків

2.1. Ціна Договору на виконання науково-дослідної роботи, становить 10 000 грн. Операція звільнена від оподаткування відповідно до підпункту 5.1.22 пункту 5.1 статті 5 Закону України "Про податок на додану вартість".

2.2. Джерело фінансування - Державний бюджет України на 2018 рік.

2.3. Ціну договору та обсяг виконуваних робіт може бути змінено залежно від реального фінансування видатків з Державного бюджету України.

3. Порядок здавання та приймання робіт

3.1. Перелік наукової та іншої документації, що підлягає оформленню та здаванню Виконавцем Замовнику на окремих етапах виконання та після закінчення виконання робіт, визначаються Технічним завданням.

3.2. По завершенню виконання робіт по етапу Виконавець не пізніше, ніж через 3 робочих дні надає Замовнику акт здавання-приймання виконаних робіт за відповідним етапом робіт.

3.3. По завершенні робіт Виконавець не пізніше, ніж через 5 робочих днів надає Замовнику акт здавання-приймання науково-дослідної роботи, додавши до нього:

3.3.1. акт здавання-приймання науково-дослідної продукції;

3.3.2. науковий звіт;

3.3.3. комплекти науково-дослідної та звітної документації, яка передбачена розділом 6 Технічного завдання та умовами цього Договору;

3.3.4. витяг з протоколу засідання науково-технічної ради Виконавця з висновком про відповідність виконаної роботи Технічному завданню на науково-дослідну роботу або висновок незалежної наукової експертизи результатів науково-дослідної роботи;

3.3.5. затвержені Виконавцем акти на списання придбаних та використаних матеріалів, а також копії договорів та актів про надання послуг співвиконавців.

3.4. Замовник протягом 5 днів з дня одержання відповідних Актів та документів, зобов'язаний направити Виконавцеві підписаний Акт або мотивовану відмову від приймання робіт.

3.5. У випадку мотивованої відмови Замовника, Сторонами складається двосторонній акт, в якому обґрунтовуються причини неприйняття робіт та (по можливості) із переліком необхідних доробок та термінів їх виконання.

3.6. Якщо в процесі виконання роботи з'ясується недоцільність подальшого її проведення у відповідності до вимог Технічного завдання

Виконавець повинен за вимогою Замовника припинити виконання робіт за Договором, повідомивши про це Замовника у триденний термін після припинення роботи.

Після припинення виконання робіт Сторони повинні протягом 3 календарних днів розглянути питання про порядок проведення остаточного розрахунку та оплати Замовником фактично виконаних Виконавцем робіт на момент припинення виконання робіт. Відповідне рішення оформлюється протоколом Сторін.

3.7. У разі дострокового виконання робіт Замовник має право достроково прийняти та оплатити їх за ціною, що вказана в цьому Договорі.

4. Відповідальність сторін

4.1. У разі порушення строків, визначених у Календарному плані, Виконавець за вимогою Замовника сплачує пеню у розмірі ставки Національного банку України за кожен день прострочення, але не більше 5 % суми перерахованих коштів.

4.2. Виконавець несе відповідальність за:

4.2.1 відповідність науково-дослідної продукції в цілому за своїми науковими і технічними параметрами вимогам Технічного завдання на науково-дослідну роботу;

4.2.2 за цільове використання коштів Державного бюджету України та фактичні витрати відповідно до бухгалтерського обліку та законодавства.

4.3. Виконавець не має права змінювати розподіл коштів між статтями витрат Планової калькуляції кошторисної вартості витрат у межах узгодженої планової калькуляції без письмової згоди Замовника.

4.4. У зв'язку з відсутністю або затримкою фінансування з Державного бюджету України можлива зміна за погодженням між Замовником і Виконавцем терміну дії цього Договору. Усі зміни оформляються додатковою угодою до цього Договору, що є його невід'ємною частиною.

4.5. Виконавець зобов'язаний своїми засобами і за свій рахунок у погоджені із Замовником строки ліквідувати зазначені в відповідних Актах недоліки і дефекти, які були допущені з його вини.

4.6. У разі невиконання робіт за цим Договором з вини Виконавця останній повертає Замовнику всі раніше сплачені кошти з виплатою відсотків в розмірі діючої на той час ставки рефінансування НБУ.

4.7. У разі неприйняття Замовником зробленої Виконавцем роботи в цілому через невідповідність її Технічному завданню на науково-дослідну роботу, Виконавцю сплачується тільки вартість робіт, прийнятих Замовником.

4.8. Сплата штрафних санкцій не звільняє Виконавця від виконання умов Договору.

4.9. Сторони звільняються від відповідальності за невиконання або неналежне виконання зобов'язань, якщо це невиконання або неналежне виконання викликане обставинами, що не залежать від волі Сторін і знаходяться поза їхньою компетенцією, а саме: воєнними діями, пожежами, стихійними лихами, техногенними аваріями, страйками, прийняття законів або інших нормативно-правових актів, що роблять неможливим виконання умов цього Договору.

4.10. Замовник має право в односторонньому порядку розірвати Договір за умови порушення норм, якщо у зазначені Замовником строки Виконавцем не були ліквідовані недоліки та дефекти, які були допущені з його вини в процесі виконання робіт за даним Договором.

4.11. Замовник не несе відповідальності перед Виконавцем за несвоєчасне виконання грошових зобов'язань поточного року у разі затримки фінансування з Державного бюджету України.

5. Строк дії Договору

5.1. Цей Договір вважається укладеним і набирає чинності з моменту його підписання Сторонами і діє до 18 грудня 2018 року, а в частині

розрахунків - до повного виконання Сторонами своїх зобов'язань відповідно до умов цього Договору.

5.4.2 Технічне завдання

Додаток 1

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання робіт

Від Черненко А.А.

Від Федорів О.В.

Інженера -конструктора

Науковий керівник Коломоєць

В.Б.

Київ – 2018

1. Загальні положення.

Модернізація анаеробного біофільтра

1.1. Замовник: Черненко А.А.

1.2. Головний виконавець: Федорів О.В.

1.3. Співвиконавці: Коломоєць В.Б.

1.4. Комплексний тематичний план науково-дослідних робіт, що фінансуються за рахунок коштів загального фонду Державного бюджету, на 2018рік.

1.5. Плановий початок робіт 11.11.2018, планове закінчення робіт 11.12.2018.

2. Основні наукові та нормативні вимоги до виконання науково-дослідної роботи

2.1 Вимоги до рівня проведення досліджень: Рівень досліджень, що будуть проводитися, відповідатиме світовим та вітчизняним вимогам для цього наукового напрямку, що буде підтверджено публікаціями у провідних фахових виданнях.

2.2 Вимоги до якості наукової продукції, створеної при проведенні науково- дослідної роботи. Якість результатів досліджень, що будуть

проводитися, відповідатиме світовим та вітчизняним вимогам для цього напрямку, що буде підтверджено контрольними вимірюваннями у незалежних лабораторіях.

2.3 Вимоги до форми представлення результатів досліджень, декларування створюваної наукової продукції про відповідність її чинним нормативним документам України. Результати наукових досліджень роботи будуть представлені у формі заключного звіту.

3. Призначення та мета створення науково-дослідної продукції

3.1 *Об'єкт дослідження або розроблення:* Біофільтр анаеробний.

3.2 *Мета роботи:* Створення анаеробного біофільтру для біологічного очищення стічних вод.

4.Склад та етапи виконання роботи

Таблиця 5.8 – Етапи виконання науково-дослідної роботи.

	Назва роботи (етапу)	Очікувані результати за етапами	Термін виконання		Звітні документи та наукова продукція, що підлягають здачі замовнику в кінці етапу
			Початок	Кінець	
1	Розробка концепції прототипу анаеробного біофільтру	Концепції прототипу анаеробного біофільтру	03.09.2018	03.12.2018	Проміжний звіт
2	Математичні розрахунки	Отримані результати	19.11.2018	28.11.2018	
3	Створення прототипу анаеробного біофільтру	3D модель	30.11.2018	01.12.2018	Проміжний звіт
4	Розробка стартап-проекту	Прототип анаеробного біофільтру	05.11.2018	07.12.2018	
5	Оформлення ПЗ, креслень та документації	Отримані результати	10.09.2018	07.12.2018	Кінцевий звіт

5. Перелік наукової та іншої документації, що надається після закінчення роботи

- проміжні звіти за етапами;
- заключний звіт з теми;
- Довідка про оцінку науково-технічного рівня результатів НДР;
- Довідка про виконання вимог чинних державних стандартів;
- Акт прийняття закінченої НДР.

6. Порядок розгляду та приймання науково-дослідної роботи

Робота приймається поетапно і в цілому по завершенні Вченою радою геологічного факультету.

Джерела фінансування науково-дослідної розробки (НДР)

Таблиця 5.9 – Джерела фінансування НДР.

п/п	Джерело фінансування	Пріоритет
1.	Система грантів за підтримкою Державного фонду фундаментальних досліджень (напрямок - наукові основи перспективних технологій)	1
2.	Державні фонди спеціального призначення	2
3.	Держбюджет	3
4.	Приватні підприємства	4

5.	Власні кошти	5
----	--------------	---

5.5 Оцінка ризиків та страхування розробки

Таблиця 5.10 – Оцінка ризиків та страхування розробки.

№ п/п	Ризик	Ймовірність настання	Вплив на результат
1	відсутність або недостатність коштів для самофінансування	висока	зупинка процесу впровадження
2	відсутність реального джерела зовнішнього інвестування	середня	зменшення прибутку
3	втрата джерела фінансування проекту в процесі його реалізації	середня	зменшення прибутку
4	невідповідність цін, передбачених бізнес-планом, та реальних ринкових цін	низька	зменшення прибутку/збільшення прибутку
5	недостатнє ресурсне забезпечення виробництва	низька	зменшення прибутку
6	помилковий вибір цільового сегмента ринку, стратегії продажу продукту	середня	вилучення продукту
7	неефективна реклама	низька	зменшення прибутку
8	недостатньо налагоджена система взаємодії з партнерами та контрагентами	середня	зменшення прибутку
9	створення продуктів-замінників	висока	зменшення вартості продукції
10	низький рівень патентного захисту	середня	втрата інтелектуальної

			власності
11	низький рівень збереження комерційних таємниць	середня	втрата інтелектуальної власності
12	непередбачене збільшення ринкових цін на ресурси	висока	зменшення прибутку
13	витрати на непередбачені бізнес-планом заходи	низька	зменшення прибутку
14	виплати за термінові роботи	низька	зменшення прибутку
15	штрафні санкції, арбітражні виплати	середня	зменшення прибутку
16	недосягнення бажаних економічних результатів у процесі розробки та впровадження інновацій	висока	зменшення прибутку
17	перевищення кошторису витрат у процесі досліджень	середня	зменшення прибутку
18	недосягнення прогнозних технічних параметрів у процесі проведення науково-дослідних і технологічних розробок	низька	витрати на проведення додаткових експериментів
19	виникнення небажаних економічних наслідків у процесі реалізації інноваційних проектів	середня	зменшення прибутку
20	виникнення нових конкурентів	середня	витіснення з ринку

Методи страхування

1. "Покриття витрат, пов'язаних із порушенням патентних прав". Цей договір компенсує страхувальникові судові витрати по переслідуванню особи, яка порушила його виключні права на об'єкти, тобто:

- витрати щодо пред'явлення позову;
- витрати у разі пред'явлення зустрічного позову і звинувачення в недійсність патенту;

- витрати на експертизу патенту;

- витрати на повтор патенту для підкріплення позову.

2. "Покриття витрат на захист патентних прав". Цей договір захищає страхувальника у разі пред'явлення йому заяви про порушення виключних прав на об'єкти ІВ третіх осіб і покриває витрати по захисту в суді, а також витрати по виконанню судового рішення або відступні при досудовому врегулюванні претензій.

Чисельність персоналу, що працюють на підприємстві, можна подати у вигляді наступної таблиці:

Таблиця 5.11 – Чисельність працівників.

№п/п	Посада	Напрямок	Кількість
1.	Генеральний директор	Управлінський, економічний	1
2.	Бухгалтер		1
3.	Головний технолог		1
4.	Інженер-механік	Інженерно- технічний персонал	6
5.	Інженер-конструктор		9
6.	Слюсар-ремонтник	Робітничий	4
7.	Охоронець	Допоміжний	4
8.	Прибиральник		1

Таким чином, чисельність працівників на підприємстві за списком становить 27 осіб.

Із них генеральний директор, бухгалтер, головний технолог і прибиральниця, які працюють з 8.00 до 16.00; 4 слюсари-ремонтники і 4 охоронці, які працюють у 3 зміни, позмінно; 6 інженерів-механіків та 9 інженерів-конструкторів, які працюють по двоє і по троє, у 3 зміни.

Робочий тиждень для для управлінського, економічного персоналу: 5 днів на тиждень, режим роботи з 8:00 до 16:00.

Робочий тиждень для робочого персоналу: 7 днів на тиждень, режим роботи у 3 зміни, тривалість робочої зміни 8 годин. Перша зміна працюватиме з 8:00 до 16:00 ($Ч_{\text{яв}} = 11$ осіб); друга зміна – з 16:00 до 24:00 ($Ч_{\text{яв}} = 7$ осіб); третя зміна – з 24:00 до 8:00 ($Ч_{\text{яв}} = 7$ осіб).

Графік роботи підприємства:

$$T_{\text{прац}}^{\text{рік}} = \frac{(365 - T_{\text{св}})}{7} * 40 - (T_{\text{св}}^* - 1) * 1 = \frac{365 - 11}{7} * 40 - (8 - 1) * 1 = 2016 \text{ год.}$$

$$N_{\text{бриг}} = \frac{T_{\text{підпр}}^{\text{рік}}}{T_{\text{прац}}^{\text{рік}}} = \frac{8760}{2016} = 4 \text{ бригади.}$$

Таблиця 5.12 – Графік змінності управлінського, економічного персоналу.

день	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Вс
I бригада	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В

Таблиця 5.13 – Графік змінності робочого персоналу.

№ бригади/зміна	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд	Пн	Вт
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I бригада	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В
II бригада	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1
III бригада	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2
IV бригада	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3

, де В – вихідний.

Тривалість змінообороту: 16 діб.

$$T_{\text{прац}}^{\text{рік}} = \frac{365}{T_{\text{змінообороту}}} * (T_{\text{змінообороту}} - T_{\text{вих}}) * T_{\text{зміни}} = \frac{365}{16} * (16 - 4) * 8 = 2190 \text{ год.}$$

5.6 Калькуляція собівартості

Складемо калькуляцію на готову продукцію підприємства. Собівартість одиниці продукції розраховується за наступною формулою:

$$C = V_{\text{пост}} + V_{\text{зм}} \cdot Q$$

Постійні витрати можна підприємства можна представити у вигляді наступної таблиці:

Таблиця 5.14 – Постійні витрати підприємства.

Найменування обладнання	Кількість	Початкова вартість	Амортизаційні відрахування	
			Норма амортизації, %	Сума, грн./рік
<i>Машини і обладнання</i>				
Основний фрезерний верстат	1	3 000 000	10	300 000

Додаткове обладнання	1	1 500 000	10	150 000
<i>Будівлі і споруди</i>				
Будівля	1	1 000 000	5	50 000
<i>Транспорт</i>				
Автомобіль	1	200 000	20	40 000
<i>Нематеріальні активи</i>				
Нематеріальні активи	-	50 000	20	10 000
<i>ВСЬОГО</i>				550 000

Змінні витрати включають в себе затрати на складальні одиниці і матеріали, електроенергію, заробітну плату персоналу.

Складальні одиниці:

- корпус вхідної секції, 1 шт;
- секція завантаження, 4 шт;
- перетинка верхня, 3 шт;
- перетинка нижня, 3 шт;
- змійовик, 6 шт;
- корпус проміжної секції, 2 шт.
- корпус вихідної секції, 1 шт;
- газовіддільник, 4шт;
- опора, 1шт.

Ціна складальних одиниць:

$$T = 50\,000 + 40\,000 + 12\,000 + 12\,000 + 24\,000 + 100\,000 + 50\,000 + 24\,000 + 24\,000 + 30\,000 = 366\,000 \text{ грн.}$$

Ціна складальних одиниць за рік становить

$$T_p = T \cdot V_n = 336\,000 \cdot 70 = 23\,520\,000 \text{ грн,}$$

де V_n - річний випуск продукції, од/рік.

- Матеріали: вартість упаковки на одиницю готової продукції – 5 000 грн, на рік – 350 000 грн.
- Витрати на електроенергію:
 - ціна електроенергії – 2,52 грн/кВт·год (оскільки тариф становить 168коп/кВт·год, а коефіцієнт використання електроенергії удень (з 7.00 до 23.00) становить 1,5);
 - за 1 добу роботи підприємства використовується 180 кВт енергії;
 - за рік роботи підприємства використовується 45 180 кВт енергії (з урахуванням незначних витрат електроенергії в неробочі дні);
 - витрати на електроенергію за рік роботи підприємства 113 854 грн.
- Заробітна плата працівників:

Таблиця 5.15 – Заробітна плата працівників.

№п/п	Посада	Напрямок	Кількість	ЗП на 1 працівника, грн/міс	Всього, грн/міс
1.	Генеральний директор	Управлінський, економічний	1	25 000	25 000
2.	Бухгалтер		1	15 000	15 000
3.	Головний технолог		1	15 000	15 000
4.	Інженер-механік	Інженерно-технічний персонал	6	12 000	72 000
5.	Інженер-конструктор		9	13 000	117 000
6.	Слюсар-ремонтник	Робітничий	4	10 000	40 000
7.	Охоронець	Допоміжний	4	7 000	28 000

8.	Прибиральник		1	6 000	6 000
9.	Преміальні виплати				57 700
Всього					375 700

Фонд оплати праці за рік розраховуємо за наступною формулою:

$$\text{ФОП} = \Sigma \text{ЗП} \cdot 1,22 \cdot 12$$

де ЗП – заробітна плата за 1 місяць; 1,22 – коефіцієнт, який враховує нарахування 22% від ЗП до ЄСВ; 12 – кількість місяців у році.

Звідси:

$$\text{ФОП} = 375700 \cdot 1,22 \cdot 12 = 5\,500\,248 \text{ грн.}$$

Відповідно до розрахованих даних калькуляція собівартості річного випуску анаеробного біофільтру матиме наступний вигляд:

Таблиця 5.16 – Калькуляція собівартості річного випуску біофільтру .

№ п/п	Елементи	Затрати на річний випуск, грн./рік
1	Амортизація	550 000
2	Складальні одиниці	23 520 000
3	Матеріали	350 000
4	ФОП	5 500 248
5	Електроенергія	113 854
6	Інше	57 700
Всього		25 141 802

5.7 Методи ціноутворення

Вихідні дані:

V –Вартість основних фондів 5 750 000 грн,

П –Період експлуатації 10 років,

C – собівартість одиниці товару 336 000 грн,

Пр – величина прибутку, яку бажає отримати підприємство від реалізації одиниці товару 100 800 грн.

5.7.1 Витратний метод

Ціна розраховується, виходячи із суми постійних і змінних витрат на одиницю продукції й запланованого прибутку з урахуванням нижнього порогу ціни.

Ціна продукції на ринку:

$$Ц = C + Пр, Ц = 336\ 000 + 100\ 800 = 436\ 800 \text{ грн.}$$

5.7.2 Параметричний метод

Корисність продукції параметричного ряду виражають чітко визначені кількісні параметри якості. Параметричні методи ціноутворення базуються на визначенні кількісної залежності між цінами і основними споживчими властивостями товару, що входить в параметричний ряд.

Питома ціна одиниці виробу Ц_{пит}:

$$Ц_{\text{пит}} = \frac{Цб}{Хб} = \frac{436800}{1} = 436\ 800 \text{ грн.}$$

Питома собівартість одиниці виробу:

$$С_{\text{пит}} = \frac{Сб}{Хб} = \frac{336000}{1} = 336\ 000 \text{ грн,}$$

де Цб–ціна базового виробу, Сб – собівартість базового виробу, Хб– значення основного параметра базового виробу у відповідних одиницях (вихід продукту умовно приймаємо рівним 1).

Визначення ціни нового виробу:

$$Цн = Ц_{\text{пит}} \cdot Хн + Н = 436\ 800 \cdot 1,1 + 10000 = 489\ 600 \text{ грн,}$$

де X_n —кількісне значення головного параметра нового виробу, H – надбавки/знижки, які відображують зміни інших споживчих характеристик нового виробу 10000 грн.

5.7.3 Конкурентний метод

Нові продукти ціна встановлюється, виходячи з її верхньої і нижньої межі.

Верхня межа ціни ($C_{\text{верх}}$) встановлюється з тих міркувань, що споживачу придбання нового товару вигідніше, ніж придбання аналога, що випускається на ринку

$$C_{\text{верх}} = C_a + E_c = 436\,800 + 60\,000 = 496\,800 \text{ грн}$$

де C_a - ціна найближчого аналога нового товару; E_c - споживчий ефект.

Нижня межа ціни ($C_{\text{нижн}}$) визначається інтересами виробника і обчислюється за базисом ціни, тобто включає сукупні виробничі витрати на виготовлення продукції, плановий прибуток за встановленим рівнем рентабельності та податок на додану вартість, її можна розрахувати:

$$C_{\text{нижн}} = C + E_{\text{вир}} = C + П + ПДВ = 436\,800 + 70\,600 = 507\,400 \text{ грн}$$

де $E_{\text{вир}}$ - ефект від виготовлення продукції (ефект виробника).

5.7.4 Метод точки беззбитковості

Виражаємо точку беззбитковості (x):

$$C_{\text{од}} = \frac{V_{\text{пост}}}{n} + V_{\text{зм}},$$

$$C_{\text{од}} = \frac{550\,000}{70} + 463\,854 = 471\,711 \text{ грн}$$

$V_{\text{пост}}$ – постійні витрати;

$V_{\text{зм}}$ – змінні витрати;

n – кількість одиниць продукції.

Таблиця 5.17 – Техніко-економічні показники підрозділу.

п/п	Показник	Значення показників підприємства	
		Проектне підприємство	Позначення
1	Річний випуск продукції, од/рік	70	V_H
2	Чисельність персоналу за списком, осіб основні та допоміжні робітники: інженерно-технічний персонал:	27	$Ч_{сп_H}$
		12	$Ч_{спр_H}$
		15	$Ч_{спі_H}$
3	Середньорічний виробіток працівника, од/особу	5,83	$V_H/Ч_{спр_H}$
4	Капіталовкладення у проект, грн:		K
	всього, грн:	11364102	K/V_H
	на одиницю продукції, грн/од:	162344	
5	Загальна собівартість продукту:		
	всього, грн	25141802	C_{3H}
	на одиницю продукції, грн	359167	C_H
6	Ринкова вартість продукту, грн/од.	436800	$Ц$
	Відносний прибуток на одиницю		$П_H = Ц - C_H$

7	продукції, грн/од.	77633	
8	Рентабельність продукту, %	21,61	$R_H = (\Pi_H \cdot 100) / C_H$
9	Термін повернень капіталовкладень, років	2,1	$T_{пов} = K / \Pi_H$
10	Вартість виробничих фондів, грн У тому числі: основних; оборотних	11364102 5750000 5614102	$B\Phi_H$ $O\Phi_H$ $Ob\Phi_H$
11	Фондовіддача виробничих фондів, грн/рік	2,69	$\Phi B_H = (B_H \cdot \Pi) / B\Phi_H$
12	Фондомісткість, грн./грн	0,37	$\Phi \epsilon_H = 1 / \Phi B_H$
13	Продуктивність праці підрозділу, грн./особу	1132444	$\Pi\Pi_H = (B_H \cdot \Pi) / \Psi_{сп_H}$
14	Коефіцієнт економічної ефективності	0,47	$E = 1 / T_{пов}$

5.8 Висновки

Проаналізувавши розраховані техніко-економічні показники для проектного підприємства можна зробити висновок про те, що провадження нової бізнес-ідеї позитивно відображається на ключових показниках за рахунок того що зменшується собівартість готової продукції.

ВИСНОВКИ

1. Виявлено, що анаеробні методи очищення дозволяють значно скоротити затрати на експлуатацію установки, так як не потребуються затрати на аерацію середовища, значно знижуються затрати на утилізацію відпрацьованого активного мулу завдяки порівняно невеликій його кількості, знижуються витрати на обслуговування. В деяких випадках можливо отримати додатковий прибуток від використання утвореної на установці енергії. Використання анаеробних методів очищення є особливо ефективним для високих концентрацій забруднень у стічній воді, а також для великих об'ємів води, яка поступає на очищення, що характерно для промислових стоків.

2. Установлено, що на ефективність очищення стічних вод у біофільтрах впливають біохімічні, масообмінні, гідравлічні і конструктивні параметри. Серед них слід відмітити: БПК стічної води, що очищається, природу органічних забруднень, швидкість окислювання, інтенсивність потоку мікроорганізмів, масу речовин, абсорбуючу плівку, товщину біоплівки, склад мікроорганізмів, що живуть у ній, інтенсивність аерації, площу і висоту біофільтра, характеристику завантаження (розмір шматків, пористість і питому поверхню), фізичні властивості стічної води, температуру процесу і гідравлічне навантаження, інтенсивність рециркуляції, рівномірність розподілу стічної води по перетину завантаження, ступінь змочування біоплівки.

3. Проведене числове дослідження впливу температури, швидкості рідини, параметрів субстрату та біомаси на радіус відриву бульбашки біогазу на основі розв'язку математичної моделі утворення та відриву бульбашки біогазу на поверхні біоплівки в анаеробному біофільтрі з площинним завантаженням, що описує процес у нерухомому середовищі та при постійному введенні рідини у біофільтр висхідним потоком.

4. Створена ком'ютерна модель анаеробного біофільтру. При навантаженні елементів виявилось, що умова стійкості та міцності виконується. Деформації конструктивних елементів в допустимих діапазонах.

5. Проведені розрахунки теплового та матеріального балансу, конструктивний розрахунок апарата, визначені основні габаритні розміри та максимальні напруження в апараті.

6. З розрахунків стартап-проекту очевидно, що впровадження нової бізнес-ідеї позитивно відображається на розвитку галузі біологічного очищення промислових стічних вод за рахунок того, що зменшується собівартість готового апарату анаеробного біофільтра.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зінченко В.О. Методи отримання біогазу [Текст] / В.О. Зінченко, В.П. Кусайло // Вісник ДАУ №2 – Житомир: Національний агроекологічний університет, 2005.– 100с.
2. Ружинська Л.І. Аналітичний огляд методів очищення стічних вод в анаеробних фільтрах [Текст] / Л.І. Ружинська, І.Г. Баранова // навчально-технічний збірник – Київ: Національний технічний університет України «КПІ», 2009.– 100с.
3. Шеїна О.О. Біохімія процесу виробництва біогазу як альтернативне джерело енергії [Текст] / О.О. Шеїна, В.О. Сисоєв // Вісник природних та технічних наук – Тамбов: Тамбовський університет, 2009.– 150с.
4. Гаазе З.В. Особливості виробництва біогазу в установках з двома біореакторами [Текст] / З.В. Гаазе, А.Л. Межевич, О.Н. Бузиян //Вісник красноярського державного аграрного університету - Красноярськ, 2012. – 200с.
5. Carlos Hernandez, Salvador. Strategie de commande integree intelligente de procedes de traitement des eaux usees parla digestion anaerobie: Salvador Carlos Hernandez. – Laboratoire d'Automatique de Grenoble, 2005. – 158 с.
6. Cresson Romain. Etude du démarrage de procédésintensifs de méthanisation.Impact des conditions hydrodynamiques et de la stratégie de montée encharge sur la formation et l'activité du biofilm: дис. док. техн. наук/ Romain Cresson. – Montpellier II, 2006. – 272 с.
7. Курис Ю.В. Особенности технологи и методы интенсификации анаэробного сбраживания [Текст] / Ю. В. Курис, С.І. Ткаченко, А.Ю. Майстренко // Наука – науковотехнічному прогресу в паливно-енергетичному комплексі – 2008. – №11. – с. 35-41.
8. Michaud M. Sébastien. Etude hydrodynamique et biologique d'un procede de methanisa-tion a biofilm : le reacteur a lit turbule inverse:дис.... д-ратехн. наук / M. Sébastien Michaud. L'institut National Des Sciences Appliquees De Toulouse, 2001. – 174 с.

9. Ружинська Л.І. Огляд конструкцій анаеробних біореакторів [Текст] / Л.І. Ружинська, А.О. Фоменкова, Є.В. Морозова // навчально-технічний збірник – Київ: Національний технічний університет України «КПІ», 2013.– 400с.
10. Колесников В.П. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях [Текст] / В.П. Колесников, Е.В. Вильсон // под ред. Ак. ЖКХРФВ.К. Гордеева-Гаврикова. – Ростов-на-Дону: Юг, 2005. – 212 с
11. Lardon Laurent. Modélisation des biofilms de digestion anaérobie par système multi-agents: Mémoire de DAA / Laurent Lardon. – Montpellier: AgroTIC, 2001. – 79с.
12. Marchaim Uri. Les procédés de production de biogaz pour le développement de technologies. Bulletin des services agricoles de la FAO,95. – Rome: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. – 1994. – 223 с.
13. Математична модель зростання бульбашок біогазу в біореакторах с закріпленою біоплівкою Восточно-европейский журнал передових технологий. №1/8 (55), 2012, Харьков. Фоменкова А.О. Ружинська Л.І..
14. Young J.C. Design considerations for full-scale anaerobic filters / James C. Young, Byung S. Yang // Journal WPCF. – 1987. – V. 61, No9. – P. 1576-1587.
15. В.С. Дубровский Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов [Текст] / Дубровский В.С., Виестур У.Э. — Рига: Зинатне, 1988. — 204 с.
16. Крупский К.Н. Использование биогаза в качестве источника энергии: Обзорная информация [Текст] / К.Н. Крупский, Е.Н. Андреев, А.С Ютина // М. ЦБНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1988. – 43 с

17. Федоткин И.М. Пленочные теплообменные аппараты и пути интенсификации теплообмена в них [Текст] / И.М. Федоткин, В.Р. Фирисюк – Киев: УкрНИИНТИ, 1969 – 91с

18. Гюнтер Л.И. Метантенки [Текст] / Л.И. Гюнтер, Л.Л. Гольдфарб – М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.

19. Титов А.И. К вопросу утилизации биогаза метантенков канализационных очистных сооружений городов Украины [Текст] / А.И. Титов, А.С. Ютина, Е.Н. Андреев // Сборник докладов международного конгресса «ЕТЕВК - 97». – Ялта, 1997. – С.189-191.

20. Козловская С.Б. Комплекс сооружений по получению и утилизации биогаза на очистных сооружениях канализации [Текст] / С.Б. Козловская // Сборник докладов международного конгресса «ЕТЕВК - 99». – Ялта, 1999. – С.106-107.

21. Абрамович И.А. Производство и утилизация биогаза в Украине – современное состояние и перспективы [Текст] / И.А. Абрамович, И.Л. Бондарь, А.С. Ютина // Сборник докладов международного конгресса «ЕТЕВК – 2001». – Ялта, 2001. – С.162-164.

22. Баадер В. Биогаз-Теория и практика [Текст] / В. Баадер, Е. Доне, М. Брендерфер // Экологическая биотехнология / Под ред. К.Ф. Фостера.– Л.:Химия,1990.– 383 с.

23. Гелетуха Г.Г. Перспективы развития технологий получения биогаза в Украине [Текст] / Г.Г. Гелетуха, С.Г. Кобзарь // Нефть и газ. – 2001. – 1/3 – 88-91с.

24. Сунь Цзаныши. Сельские биогазогумусные установки в КНР [Текст] / Цзаныши Сунь //Техника в сельском. хоз-ве 1990. – №3. – 17-23с.

25. Бодиловский А.В. Пути использования альтернативных источников энергии в животноводстве и кормопроизводстве [Текст] / А.В. Бодиловский // Механизация. И электрификация.сел. хоз-ва. – 1986. – №1. – 40с.

26. Шрамков В.М. Переработка органических отходов в удобрение и биогаз [Текст] / В.М. Шрамков, В.Д. Савин // Техника и оборудование для села.– 1999. – N1–2.– 18-19с.

27. Вейсер Т. Практический опыт использования биологических методов очистки сточных вод, образующихся в индустрии напитков [Текст] / Т. Вейсер, В. Хелльманн, М. Чеботаева // официальный сайт фирмы «Энвирос-Хеми Вассерунд Абвассертехник ГмбХ». Режим доступа : \www/ URL: <http://www.enviro-chemie.ru>, 2004. – 4 с .

28. Хенце М. Очистка сточных вод [Текст] / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Ясен, Э. Арван// – М.: Мир, 2009. – 480 с.

Додаток А

Установка для очищення стічної води виробництва кормових дріжджів.
Апаратурно-технологічна схема

Додаток Б
Специфікації

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			БІ7106.23624.002.00.00-60 СБ	Анаеробний біофільтр	2	
				<u>Складальні одиниці</u>		
БК	1		БІ7106.23624.002.01.00-60	Корпус вхідної секції	1	
A1	2		БІ7106.23624.002.02.00-60 СБ	Секція завантаження	4	
БК	3		БІ7106.23624.002.03.00-60	Перетинка верхня	3	
БК	4		БІ7106.23624.002.04.00-60	Перетинка нижня	3	
БК	5		БІ7106.23624.002.05.00-60	Зміювик	6	
БК	6		БІ7106.23624.002.06.00-60	Корпус проміжної секції	2	
БК	7		БІ7106.23624.002.07.00-60	Корпус вихідної секції	1	
БК	8		БІ7106.23624.002.08.00-60	Газовіддільник	4	
БК	9		БІ7106.23624.002.09.00-60	Опора	1	
				<u>Деталі</u>		
БК	10		БІ7106.23624.002.00.01-60	Куттик	57м	200x200x20-В ГОСТ 8509-86
				<u>Стандартні вироби</u>		
		11		Болт М18-6dх120.78 ГОСТ 1759-70	96	
		12		Гайка М18х6Н.5 ГОСТ 5915-70	96	
		13		Прокладка А-100-2,5 ПОН-ГОСТ 15180-86	12	
		14		Шайба 18.02.05 ГОСТ 5916-70	96	

БІ7106.23624.002.00.00-60

Зм.	Арк.	№ докum.	Підп.	Дата
Розроб.		Комлева О.П.	<i>[Signature]</i>	7.12.18
Перев.		Ружинська Л.	<i>[Signature]</i>	7.12.18
Н. контр.		Ружинська Л.	<i>[Signature]</i>	7.12.18
Затв.		Мельник В.М.	<i>[Signature]</i>	10.12.18

Анаеробний біофільтр

Літ.	Арк.	Аркушів
	7	2

НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського",
ФБТ, БІ-71мп

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			БІ7106.23624.002.02.00-60 СБ	Секція завантаження	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	БІ7106.23624.002.02.01-60	Куттик поздовжній	4	200x200x20-В ГОСТ 8509-86
		2	БІ7106.23624.002.02.02-60	Куттик поперечний	4	200x200x20-В ГОСТ 8509-86
		3	БІ7106.23624.002.02.03-60	Куттик вертикальний	4	200x200x20-В ГОСТ 8509-86
		4	БІ7106.23624.002.02.04-60	Стрижень	440	
		5	БІ7106.23624.002.02.05-60	Лист	220	
				<u>Матеріали</u>		
				З50А-УОНІ-13/45-6.0-УД2 Е-442(5)-Б10	150	
				ГОСТ9466-75,ГОСТ9467-75		

БІ7106.23624.002.02.00-60

Зм.	Арк.	№ док.м.	Підп.	Дата
Розроб.		Комлева О.П.	<i>[Signature]</i>	7.12.18
Перев.		Ружинська Л.	<i>[Signature]</i>	7.12.18
Н. контр.		Ружинська Л.	<i>[Signature]</i>	7.12.18
Затв.		Мельник В.М.	<i>[Signature]</i>	10.12.18

Секція
завантаження

Літ.	Арк.	Аркциві
		1

НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського",
ФБТ, БІ-71мп

