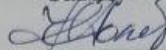


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

«На правах рукопису»
УДК 628.35: 676.088

До захисту допущено:
Завідувач кафедри

 Наталія ГОЛУБ

« 2 » 01 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»

зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

на тему: «Двоступеневе анаеробно-аеробне біологічне очищення
стічних вод картонно-паперової фабрики в Хмельницькій області»

Виконала:

студентка 2 курсу, групи ББ-21 мп
Коваленко Ганна Євгенівна

Науковий керівник:

Проф., каф. біоенергетики, біоінформатики
та екобіотехнології, д.т.н., проф.
Саблій Лариса Андріївна

Консультант з розділу: економічна частина

Доц. каф. економіки і підприємництва, к.е.н., доц.
Погребняк Анна Юріївна

Рецензент: д.б.н., с.н.с.,

Доц. каф. трансляційної медичної біоінженерії
Солдаткін Олександр Олексійович

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

Студентка

Київ – 2024 року

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

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»
Освітньо-професійна програма «Біотехнології»



Директор ТОВ «ОСТВА»

Віктор ЛУЦИК
«31» 08 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри

Наталія ГОЛУБ
«31» 08 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студентці

Коваленко Ганна Євгенівна

1. Тема дисертації «Двоступеневе анаеробно-аеробне біологічне очищення стічних вод картонно-паперової фабрики в Хмельницькій області», керівник дисертації – проф., д.т.н., Саблій Л.А., затверджені наказом університету від «08» 11 2023 р. № 5193 -с
2. Термін подання студентом дисертації 10.01.2024
3. Об'єкт дослідження: процеси анаеробного та аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики.
4. Предмет дослідження: науково-технологічні основи та раціональні параметри технології аеробного біологічного очищення з використанням іммобілізованих мікроорганізмів та анаеробного біологічного очищення з гранульованим мулом для стічних вод картонно-паперової фабрики.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: на підставі огляду літератури розглянути характеристики фізико-хімічного складу стічних вод та водовідведення картонно-паперової фабрики; описати технологію переробки паперу; обґрунтувати і обрати ефективну технологію біологічного очищення стічних вод; описати біологічні агенти: гранульований анаеробний мул,

імобілізовані на носіях мікроорганізми; розрахувати такі очисні споруди: анаеробний біореактор SGBR, вторинний відстійник, аеротенк з касетами для носіїв для імобілізованих мікроорганізмів, третинний відстійник; спроектувати технологічну, апаратурну схеми біологічного очищення стічних вод, аеротенк з носіями для імобілізації «ВІЯ»; розробити стартап-проект очисної станції за прийнятої технології очищення стічних вод; описати заходи з техніки безпеки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: технологічна схема (A1), апаратурна схема (A1), аеротенк-витиснювач з носіями типу «ВІЯ» (A1), калькуляція собівартості (A1).

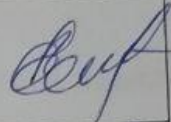
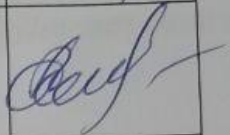
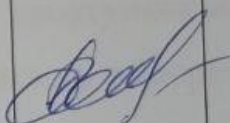
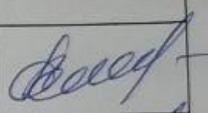
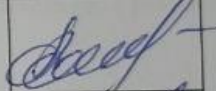
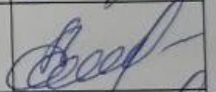
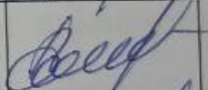
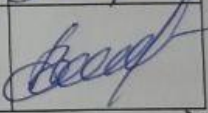
7. Орієнтовний перелік публікацій 2 мез

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Погребняк А.Ю., к.е.н., доцент		

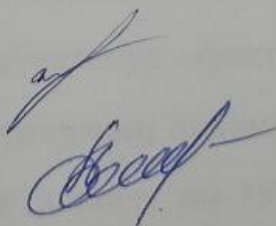
9. Дата видачі завдання 31.08.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Фізико-хімічні характеристики стічних вод картонно-паперової фабрики	01.09-23 – 23.09.23	
2	Аналіз технологій і методів біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики	23.09.23 – 14.10.23	
3	Обґрунтування та вибір технології анаеробно-аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики	14.10.23 – 04.11.23	
4	Розрахунки очисних споруд біологічного очищення стічних вод	04.11.23 – 18.11.23	
5	Розробка креслень	18.11.23 – 09.12.23	
6	Розробка стартап-проєкту	09.12.23 – 16.12.23	
7	Охорона праці та техніка безпеки	16.12.23 – 19.12.23	
8	Оформлення магістерської дисертації	19.12.23 – 26.12.23	
9	Підготовка до захисту магістерської дисертації. Попередній захист	26.12.23 – 15.01.24	

Студентка

Науковий керівник



Г.Є. КОВАЛЕНКО

Л.А. САБЛІЙ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської дисертації містить 126 сторінок, 29 таблиць, 8 рисунків, список використаних джерел – 66 найменувань, 1 додаток на 6 сторінках і 4 аркуші креслень А1.

Графічна частина виконана на 4 аркушах А1. У графічній частині наведено: технологічну схему, апаратурну схему, креслення основної споруди аеротенка-витиснювача з носіями типу «ВІЯ», калькуляцію собівартості.

У магістерській дисертації спроектовано технологію двоступеневого анаеробно-аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики в Хмельницькій області із застосуванням сучасних технологічних рішень: анаеробних біореакторів з гранульованим мулом і аеротенків з іммобілізованими мікроорганізмами для збільшення ефекту очищення стічних вод та зменшення концентрацій забруднень за показником ХСК та БСК_{повн} до показників гранично допустимого скиду.

Першим ступенем обраної технології очищення стічних вод Понінківської картонно-паперової фабрики є анаеробна стадія, що передбачає використання анаеробного SGBR-реактора з гранульованим анаеробним мулом. Другий етап включає аеробне очищення в двосекційному трьохкоридорному аеротенку-витиснювачі з касетами з прикріпленими до них носіями типу «ВІЯ». Застосування обох методів послідовно забезпечує ефективнішу обробку, ніж якби аеробну та анаеробну системи використовували окремо (за анаеробних процесів ефективність очищення за БСК складає всього 60-75%). Рішення використовувати обидві технології, як правило, призводить до вищих капітальних витрат, але до нижчих експлуатаційних витрат і витрат на утилізацію відходів.

У дисертації визначено розрахункові витрати стічних вод, розраховано концентрації забруднень на стадіях очищення стічних вод, проведено розрахунки очисних споруд: анаеробний реактор SGBR, вторинний відстійник, аеротенк з носіями іммобілізованих мікроорганізмів, третинний відстійник, описано біологічні агенти: анаеробний гранульований мул та іммобілізований активний

мул, охорону праці та техніку безпеки та економічну частину: стартап-проект очисної станції за прийнятої технології очищення стічних вод..

Ключові слова: промислові стічні води, картонно-паперова фабрика, біологічне очищення, анаеробний SGBR-реактор, анаеробний гранульований мул, аеротенк-витиснювач, іммобілізовані мікроорганізми, носії типу «ВІЯ».

ABSTRACT

The explanatory note of the master's thesis contains 126 pages, 29 tables, 8 figures, 66 references, 6 pages of the appendix A and 4 sheets of drawings A1.

The graphic part is made on 4 sheets of A1. The graphic part contains: process flow diagram, hardware diagram, drawings of the main apparatus - aerotank-displacer with a carrier type "VIIA", calculation of prime cost.

The master's thesis introduces the design of the technology of two-stage anaerobic-aerobic biological treatment of wastewater of a cardboard and paper factory in Khmelnytskyi region using modern technological solutions: anaerobic bioreactors with granular sludge and aeration tanks with immobilized microorganisms to increase the effect of wastewater treatment and reduce the concentration of COD and BOD pollutants according to the threshold limit value.

The first stage of the selected wastewater treatment technology of the Poninkiv cardboard and paper factory is the anaerobic stage, which involves the use of an anaerobic SGBR reactor with granular anaerobic sludge. The second stage includes aerobic treatment in a two-section three-corridor continuous-flow aeration tank with cassettes with carriers of the "VIIA" type attached to them. The use of both methods in sequence provides more effective treatment than if aerobic and anaerobic systems were used separately (in anaerobic processes the efficiency of reducing BOD is only 60-75%). The decision to use both technologies generally results in higher capital costs but lower operating and waste disposal costs.

In the master's thesis wastewater flow rates are estimated, pollutant concentrations at the stages of wastewater treatment are calculated, treatment facilities are calculated: anaerobic reactor SGBR, secondary sedimentation tank, continuous-flow aeration tank with carriers of immobilized microorganisms, tertiary sedimentation tank), biological agents: anaerobic granular sludge and immobilized activated sludge, occupational safety and health, and the economic part: a start-up project of a wastewater treatment plant, are mentioned.

Key words: industrial wastewater, cardboard and paper factory, biological treatment, anaerobic SGBR reactor, anaerobic granular sludge, continuous-flow aeration tank, immobilized microorganisms, carriers of the "VIA" type.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТІЧНИХ ВОД КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ	16
1.1 Характеристика картонно-паперового виробництва	16
1.2 Опис процесів переробки паперу	17
1.3 Використання води на виробництві	19
1.4 Основні замкнуті водні системи на виробництві	22
1.5 Фізико-хімічні характеристики стічних вод виробництва	24
1.6 Загальна характеристика водного господарства та локальних очисних споруд виробничих стічних вод ТзОВ ПКПФ – Україна	27
1.7 Характеристика стічних вод ТзОВ ПКПФ – Україна	30
1.8 Висновок	32
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ	33
2.1 Метод анаеробного очищення	33
2.1.1 Характеристика анаеробних процесів	34
2.1.2 Анаеробні реактори	37
2.1.3 Вибір анаеробного реактора	43
2.2 Метод аеробного очищення	44
2.2.1 Аеробні процеси	44
2.2.2 Імобілізація активного мулу	47
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ АНАЕРОБНО-АЕРОБНОГО БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ	52
3.1. Обґрунтування і вибір технології біологічного очищення стічних вод	52

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
					Зміст	Літ.	Арк.	Аркушів
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			9	126
Розробила		Коваленко Г.Є.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мп		
Перевір.		Саблій Л.А.						
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.						

3.2. Вибір технології	52
3.2.1 Загальні відомості про реактори	52
3.2.2 Порівняльна характеристика роботи анаеробних реакторів	57
3.2.3 Висновок	64
3.3 Вибір методу попереднього очищення січних вод від завислих речовин	65
3.4 Опис біологічних агентів	67
3.4.1 Анаеробний гранульований мул	67
3.4.2 Імобілізований активний мул	70
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СІЧНИХ ВОД	74
4.1 Розрахунок анаеробного реактора	74
4.2 Розрахунок вторинних відстійників після анаеробного реактора	75
4.3 Розрахунок аеротенка	75
4.4 Розрахунок третинних відстійників	79
РОЗДІЛ 5. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СІЧНИХ ВОД КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ	81
РОЗДІЛ.6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	91
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА СТАНЦІЯХ ОЧИЩЕННЯ СІЧНИХ ВОД	110
ВИСНОВКИ	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	114
ДОДАТКИ	121

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЗР — завислі речовини.

БСК — біологічне споживання кисню.

БСК_{повн} — повне біологічне споживання кисню.

ХСК — хімічне споживання кисню.

ГДС – гранично допустимий скид.

ПАА — поліакриламід.

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Перелік скорочень	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробила		Коваленко Г.Є.					11	126
Перевір.		Саблій Л.А.						
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.						
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мн		

ВСТУП

Швидке зростання чисельності населення та збільшений попит промислових установ на задоволення потреб людей створили проблему надмірної експлуатації наявних ресурсів, що призвело до забруднення навколишнього середовища, в тому числі і водного [1]. Целюлозно-паперова промисловість є важливою галуззю, основна продукція якої включає паперовий пакувальний матеріал, письмовий папір, папір для друку, папір санітарно-гігієнічного призначення, спеціальний папір тощо. Галузь є трудомісткою та відіграє життєво важливу роль у соціально-економічному та сталому розвитку навколишнього середовища. Однак целюлозно-паперова промисловість є і однією, що найбільше забруднює воду та утворює стічні води, які є високотоксичними за своєю природою. Паперова фабрика потребує величезної кількості (~50–60 м³ води для виробництва однієї тонни паперу) води, і, відповідно, утворюється велика кількість хімічно забруднених стічних вод [2]. Загалом стічні води картонно-паперових заводів містять складну суміш різних органічних сполук і було виявлено 240–250 хімічних речовин, а саме волокна целюлози, аліфатичні, терпенові і ароматичні вуглеводні, спирти, жирні кислоти, органічні галогеніди, барвники та їх похідні тощо. Крім того, вони містять високі показники біохімічного споживання кисню (БСК) та хімічного споживання кисню (ХСК). Забруднені води утворюються на всіх стадіях процесу виробництва паперу. Очевидно, що властивості стічних вод з різних стадій залежать від типу процесу та сировини, рециркуляції стічних вод і кількості використаної води [3].

Несприятливі наслідки від скидання неочищених стічних вод включають вичерпування розчиненого кисню, токсичний вплив на риб та інші водні організми та неприйнятні зміни кольору, каламутності, температури та вмісту твердих речовин у водойми. Для захисту навколишнього середовища, а також

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробила		Коваленко Г.Є.					12	126
Перевір.		Саблій Л.А.						
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.						
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мп		

для задоволення вимог законодавства паперово-целюлозній промисловості необхідно видаляти шкідливі речовини зі стічних вод перед їх скиданням у навколишнє середовище.

Так, біологічне очищення було визначено як економічно ефективний та екологічно чистий метод розкладання ксенобіотичних сполук для стічних вод паперової фабрики. Технології біологічного очищення передбачають використання мікроорганізмів, включаючи бактерії, гриби, ферменти та водорості в умовах очисних споруд. Техніка мікробної деградації є більш придатною для повного розкладання органічних і неорганічних сполук, присутніх у стічних водах паперової фабрики. Тому біоремедіація є ефективним методом контролю забруднення навколишнього середовища, який використовує біологічні системи для каталізації деградації різних складних токсичних хімічних речовин на простіші сполуки [2].

Розглядаючи Понінківську картонно-паперову фабрику, варто зазначити її власну обробку стічних вод. На комбінаті проводять одну стадію аеробного очищення в аеротенку з концентраціями ХСК та БСК на виході – 180 та 120 мг/дм³ відповідно. Вирішення проблеми з забрудненнями полягає в заміні старих виробничих потужностей на нову систему у вигляді двоступеневого анаеробно-аеробного біологічного очищення, яке є більш ефективним у доведенні показників стічних вод до встановлених вимог [4].

Метою наукової роботи є вибір і проектування технології двоступеневого анаеробно-аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики в Хмельницькій області із застосуванням сучасних технологічних рішень: анаеробних біореакторів з гранульованим мулом і аеротенків з іммобілізованими мікроорганізмами для збільшення ефекту очищення стічних вод та зменшення концентрацій забруднень за показником ХСК та БСК_{повн} до показників гранично допустимого скиду.

Об'єктом дослідження є процеси анаеробного та аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики у Хмельницькій області. Предметом дослідження є науково-технологічні основи та раціональні параметри

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

технології аеробного біологічного очищення з використанням іммобілізованих мікроорганізмів та анаеробного біологічного очищення з гранульованим мулом для стічних вод картонно-паперової фабрики.

Завдання наукової роботи:

- на підставі огляду літератури розглянути характеристику фізико-хімічного складу стічних вод та технології очищення стічних вод картонно-паперової фабрики;
- обґрунтувати і обрати ефективну технологію біологічного очищення стічних вод фабрики;
- розрахувати такі очисні споруди: анаеробний біореактор SGBR, вторинний відстійник, аеротенк з касетами для носіїв для іммобілізованих мікроорганізмів, третинний відстійник;
- описати біологічні агенти: гранульований анаеробний мул, іммобілізовані на носіях мікроорганізми;
- спроектувати технологічну, апаратурну схеми біологічного очищення стічних вод, аеротенк з носіями для іммобілізації «ВІЯ»;
- розробити стартап-проект очисної станції за прийнятої технології очищення стічних вод;
- описати заходи з техніки безпеки.

Робоча гіпотеза – враховуючи те, що в стічних водах картонно-паперової фабрики містяться складні сполуки, саме продукти розкладення целюлози, аліфатичні, терпенові і ароматичні вуглеводні, спирти, жирні кислоти, органічні галогеніди, барвники та їх похідні тощо, встановити ефективність застосування двоступеневого анаеробно-аеробного біологічного очищення для їх видалення.

Новизною роботи є аналіз і вибір раціональних параметрів технології біологічного анаеробно-аеробного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики з використанням гранульованого мулу та іммобілізованих мікроорганізмів.

Практична значимість – розроблення технологічної та апаратурної схем двоступеневого анаеробно-аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики з послідовним використанням гранульованого мулу та іммобілізованих мікроорганізмів.

Апробація роботи:

1. Коваленко Г.Є., Саблій Л.А. Використання анаеробного процесу для інтенсифікації біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики / Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти (9-10 листопада 2023 р., м. Київ): матер. VIII Міжнар. наук.-практ. конф./ Уклад. Жукова В., Колтишева Д. – 2023. – с 94-95.

2. Коваленко Г.Є., Саблій Л.А. Переваги анаеробного методі біологічного очищення стічних вод картонно-паперових фабрик / Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів : студент. й шкіл. секція : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., Харків, 19–20 квіт. 2023 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова [та ін. ; редкол.: Д. В. Дядін, В. О. Юрченко, О. М. Дрозд та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 42-44 с.

РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТІЧНИХ ВОД КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ

1.1 Характеристика картонно-паперового виробництва

Понінківська картонно-паперова фабрика у Хмельницькій області – підприємство целюлозно-паперової промисловості в смт Понінка Полонського району, Хмельницької області. Фабрика спеціалізується на постачанні та переробці вторинної сировини і виготовленні та реалізації екологічно чистого, згідно з європейськими вимогами та стандартами, паперу, картону та гофропродукції.

Переробка паперу становить великий сегмент паперової промисловості, охоплюючи широкий спектр діяльності, пов'язаної з переробки макулатури в нові паперові вироби. Виснаження природних ресурсів і дефіцит сировини відіграють фундаментальну роль у зростанні ринку переробки паперу. Це дозволяє зберегти природні ресурси, як-от деревину та воду, а також значно скорочує витрати виробництва. Процес виробництва паперу з нуля споживає багато енергії. Однак насправді переробка паперу дозволяє заощадити близько 70% енергії. Ще однією перевагою те, що переробка потребує менших витрат енергії, в є можливість заощадити кошти. Також використання вторинних матеріалів є уникненням викидання паперу на звалище. У свою чергу ці звалища забруднюють повітря різними токсичними газами. За статистикою відомо, що рециклінг допомагає зменшити викиди газу приблизно на 74% і уникнути викидів, що забруднюють воду, приблизно на 35%.

Однак деякі люди стверджують, що повторне використання паперу як сировини іноді може мати і недоліки. Дослідники пояснили, що залежно від сорту паперу, волокна можна використовувати лише повторно до семи разів. Причиною є те, що хороший папір складається з великої частки довгих волокон, а після кожного наступного циклу переробки вони поступово руйнуються, у

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Фізико-хімічні характеристики стічних вод картонно-паперової фабрики	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробила		Коваленко Г.Є.					16	126
Перевір.		Саблій Л.А.						
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81	

результаті чого утворюються коротші та слабші волокна, які зрештою спричиняють низьку міцність паперу та погану вбираючу здатність. Крім того, значні кількості неволокнистих компонентів, що присутні у відновленому папері, можуть спричинити небажані наслідки для продуктивності фабрики. Отже, завжди є потреба в нових волокнах на заводах із переробки паперу для виробництва високоякісної продукції. Сьогодні більшість відновленого паперу використовується в комерційних цілях для виробництва картону, а вищі сорти паперу, а саме газетний папір, папір для друку та писання, зазвичай потребують свіжу пульпу [5].

1.2 Загальний процес переробки паперу

Сортування

Сортування означає, що папір упорядковується безпосередньо за різними категоріями, як-от картон, газетний папір, журнальний папір, офісний папір тощо, оскільки різні види обробляються по-різному на наступних етапах процедури створення різних типів переробленого паперу.

Пульпування

Після того, як папір було відсортовано, на фабриці папір подрібнюють на дрібні клаптики. Після дрібного подрібнення матеріалу додається велика кількість води разом з іншими хімічними речовинами, як-от пероксид водню, гідроксид натрію та силікат натрію, щоб розщепити та розділити волокна паперу. У результаті виходить кашоподібна суміш – пульпа, яка використовується як сировина для виготовлення нового паперу. Цей процес відомий під назвою пульпування.

Фільтрування та просіювання

Далі отриману масу фільтрують та пропускають через серію сит з отворами різного розміру та форми для видалення більших забруднень, а саме канцелярських скріпок, скоб, шматочків клею та пластику.

Видалення фарби

Етап видалення фарби залежить від наявності фарби на папері. Однак перед цим передбачене промивання пульпи водою. Видалення фарби досягається у флотаційному резервуарі в результаті процесу флотації, під час якої в розчин вдувають повітря. Фарба прилипає до бульбашок повітря та піднімається на поверхню, звідки і видаляється.

Відбілювання

Етап відбілювання є актуальним, коли фабрика має намір виготовити білий папір. На цій стадії застосовується пероксид водню для збільшення яскравості, чистоти та білизни паперу. Крім того, можна використовувати кисень або діоксид хлору. Іноді додають барвники для створення кольорових виробів, а в деяких випадках додають невелику кількість синього та чорного барвника для створення яскраво-білого паперу для друку. Пульпу, яка тепер на цьому етапі складається з 99% води та 1% волокна, можна змішувати з пульпою, виготовленою з нових матеріалів, щоб покращити її властивості.

Сушіння

Це завершальний етап всього процесу переробки паперу. Тут готується чиста пульпа для виготовлення нового паперу. Пульпу пропускають через ролики, які віджимають надлишок води, або через вібраційну машину для створення продукту, який складається з 50% води та 50% волокна. Пульпу можна використовувати окремо або до неї можна додавати додаткове деревне волокно для надання паперу додаткової міцності або гладкості. Далі аркуші проходять через нагріті парою валики за температури до 55°C для формування довгих рулонів суцільних аркушів. Один рулон такого паперу може досягати ширини 9 метрів і важити до 27 тонн. На цьому етапі папір іноді покривають додатковими речовинами, наприклад картопляним крохмалем, щоб запобігти розповсюдженню фарби, як це відбувається на папері санітарно-гігієнічного призначення. Потім кінці рулону обрізають і передають на переробку для отримання нової пульпи. Отриманий рулон паперу відтак розрізається на менші

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

секції та надсилається різним виробникам, які використовують папір для виготовлення своїх продуктів, наприклад газет, пакувальних матеріалів тощо [5].

1.3 Використання води на виробництві

У виробництві паперу використання води значною мірою включає різні операції. Воду також використовують для охолодження та нагрівання у вигляді пари. Тому економічні витрати заводу з виробництва паперу залежить від кількості використаної води. Крім того, рівень споживання різний для кожного підприємства залежно від сировини, що використовують, і сорту паперу, що виробляють. Було доведено, що там, де первинну целюлозу замінюють макулатурою, споживається на 9-25% менше води і приблизно на 28-70% менше енергії. Отже, викиди забруднень у повітря та воду, пов'язані з процесом утворення пульпи, значно зменшуються, оскільки пульпування з використанням використаного паперу не залежить від широкого використання хімічних речовин, а переважно води [6].

Фабрики з малими папероробними машинами, низькими темпами виробництва і які виробляють високоякісну продукцію, часто стикаються зі збільшеними обсягами стічних вод. В таблиці 1.1 наведено порівняння ступенів рециркуляції води у водяній системі для різних паперових виробів. Фабрики з переробки паперу, які виробляють пакувальний папір, як-от гофрований папір або картон, часто мають найнижчі вимоги до надходження водопровідної води, а деякі вже досягли мінімального скиду стічних вод, організувавши замкненість водної системи [7].

Таблиця 1.1 Ступінь замкненості водної системи залежно від паперової продукції [7]

Паперова продукція	Ступінь замкненості водної системи, %
Папір санітарно-гігієнічного призначення	40-70

Письмовий папір та папір для друку	40-70
Газетний папір	65-85
Пакувальний папір та картон	>95

Вода абсолютно необхідна для виготовлення паперу. Це не тільки потрібно для переміщення всієї сировини для виготовлення паперу в межах паперової фабрики, але це також критично важливо для самого процесу формування аркушу. Під час сушіння паперу вода зближує волокна настільки, щоб утворювати зв'язки між целюлозними волокнами, що призводить до отримання цільного міцного аркушу. Попри те, що вода має вирішальне значення для виготовлення, вона не є сировиною. Деревина або макулатура переробляються та перетворюються на кінцевий продукт. Для виробництва енергії витрачається паливо. Натомість воду просто «позичають» із річок або підземних джерел. Наприкінці процесу виробництва вона повертається назад у річку. Очевидно, що паперова промисловість має переконатися, що якість води, що повертається до річки, дуже схожа на якість води, запозиченої з річки.

Чиста вода на картонно-паперовій фабриці застосовується у:

- розрідженні маси для отримання пульпи;
- генеральному прибиранні;
- спринклерних пристроях;
- вакуумних насосах;
- котлах;
- створенні розчинів;
- охолодженні пресових валиків, повітряних компресорів тощо.

У більшості випадків підсіткову воду, або воду, зливу з папероробних машин, можна використовувати замість прісної води. Важливими атрибутами якості підсіткової води є прозорість (концентрація волокон, дрібних частинок,

наповнювачів та інших твердих речовин), рН, температура та концентрація завислих речовин.

Для розрідження пульпи немає вагомих причин використовувати чисту воду для цього етапу. Температура та рН підсіткової води насправді робить її більш придатною для застосування.

Багато заводів по всьому світу використовують підсіткову воду для генерального прибирання. Температура підсіткової води не повинна бути дуже високою, інакше працівникам буде небезпечно працювати з нею. Рівень рН має бути близьким до нейтрального (рН 6-8), прозорість повинна бути задовільною, а також необхідно слідкувати за концентрацією завислих речовин, оскільки високі показники призведуть до відкладення цих речовин на різних поверхнях.

Спринклерні пристрої використовуються в різних місцях папероробних машин. В них використовується підсіткова вода, температура та рН якої дуже підходять. Найбільше потрібно звертати увагу на показник прозорості. Концентрація завислих речовин повинна бути низькою.

Для затворної води для вакуумних насосів температура є найважливішим параметром. Для максимально ефективної роботи вона повинна бути якомога нижчою. Більш висока температура призведе до збільшення споживання електроенергії та більшої ймовірності механічного зносу насосів. Якщо затворна вода, що виходить із рідинно-кільцевих вакуумних насосів, не забруднюється, її можна використовувати повторно, зберігаючи її в окремому контурі. Утримувати низьку температуру води допоможе градирня. Якщо ця вода забрудниться, її можна зрештою змішати з підсітковою водою для використання на іншій ділянці. Підсіткову воду з хорошою прозорістю можна використовувати як затворну воду для вакуумних насосів. Підсіткова вода, як правило, підходить для більшості інших насосів. Альтернативою для звичайних насосів є перехід на механічні затвори, таким чином повністю усуваючи потребу у воді.

Котлам потрібна належним чином очищена пом'якшена вода. Правильне управління конденсатом є ключовим для мінімізації потреб у котловій воді. Пара з котла використовується переважно в барабанних сушарках папероробної

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

машини. Належне технічне обслуговування конденсатовідвідників і повний збір конденсату зведуть до мінімуму втрати пари та максимізують кількість конденсату, що повертається до котла. Очищення котлової води часто включає іонний обмін. Воду, що скидається після іонного обміну, можна змішувати з підсітковою водою, таким чином зменшуючи споживання водопровідної води.

Хімічні речовини постачаються у вигляді порошків, емульсій або концентрованих розчинів, тому їх потрібно довести до бажаної концентрації. Завислі речовини або хімічні речовини в підсітковій воді можуть мати небажані реакції з цими хімічними речовинами. Вищі концентрації волокон або дрібних частинок є також небажаними. Температура, як правило, не викликає занепокоєння, але правильний рН, безумовно, важливий. Постачальники хімікатів здебільшого рекомендують водопровідну воду для приготування розчинів. Більшість процедур приготування хімікатів складається з двох етапів – первинного підживлення та вторинного розведення. У двоетапному процесі підсіткову воду можна використовувати для вторинного розведення.

Для охолодження пресових валиків, повітряних компресорів, очевидно, низька температура води є найважливішою вимогою. Як правило, вода, що виходить, не забруднена, але з вищою температурою. Найкращий підхід – використовувати водопровідну воду, але зберігати її в окремому контурі. Використання градирні в контурі допоможе підтримувати температуру води на потрібному рівні [8].

1.4 Основні замкнуті водні системи на виробництві

На фабриці переробленого паперу є три основні замкнуті системи води: первинний контур, вторинний контур і третинний контур. У первинному контурі, також відомому як коротка циркуляція технологічної води, розбавлення пульпи виконується шляхом повторного використання підсіткової води, отриманої із ділянки формування аркушів та є багатою на дрібні волокна і наповнювачі. Ці компоненти мають тенденцію накопичуватися в підсітковій воді під час її рециркуляції. У цьому водяному контурі рециркулює велика частина води, а

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

надлишок направляється в басейн підсіткових вод. Басейн підсіткових вод діє для розділення завислих речовин та рідини. Він використовує одиничні операції, як фільтрація, седиментація або флотація для видалення волокон і наповнювачів для полегшення очищення стічних вод на наступних стадіях. Дискові фільтри є найбільш часто використовуваним технологічним обладнанням для всіх видів виробництва паперу; і мають здатність виробляти три види фільтратів: мутний, чистий і суперчистий. Мутний фільтрат зазвичай повертається назад до входу дискового фільтра для подальшого відділення. Чистий фільтрат, який зазвичай містить менше ніж 50 мг/дм^3 завислих речовин, перекачується в башту підсіткової води та використовується для розведення маси під час пульпування та контролю її консистенції. На цьому етапі у воді не потрібен дуже низький вміст завислих речовин, оскільки вода використовується для змішування пульпи та запобігання надто густій або рідкій суміші. Суперчистий фільтрат з меншою кількістю завислих речовин ($>20 \text{ мг/дм}^3$) можна використовувати як заміну водопровідній води для пристроїв, пов'язаних із пресовим валиком. Встановлено, що цей потік води з меншою ймовірністю спричиняє проблеми із забрудненням продукту. Відновлена маса з дискового фільтра повертається в процес створення пульпи. Дискові фільтри, як правило, є кращими перед методами флотації, оскільки вони забезпечують кращу якість фільтрату без необхідності додавання хімікатів і є менш габаритними. Незважаючи на те, що, дискові фільтри часто асоціюються зі старими технологіями, але вони все ще дієві, коли є потреба у видаленні наповнювачів і дрібних частинок. Рециркуляція очищеної підсіткової води з басейну підсіткових вод складає вторинний контур. Надлишок підсіткової освітленої води направляється на глибоке очищення стічних вод.

Третинний контур – це потік стічних вод, у якому очищується надлишок води з вторинного контуру, а також інша вода, що не використовується повторно, з таких процесів, як очищення заводів, продувна вода з котла та побутові стічні води. Водночас як фільтра достатньо для видалення грубо-дисперсних і завислих частинок, велика частина розчинених речовин, які

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

складають ХСК і БСК, все ще залишаються в освітленій воді. У поєднанні з накопиченням хімічних речовин із рециркуляційної технічної води, подальше очищення цього потоку є важливим. Очищені стічні води третинного контуру можуть бути повернуті назад у гідравлічний пульпер [9].

1.5 Фізико-хімічні характеристики стічних вод виробництва

Фабрики з переробки паперу використовують вторинний папір як сировину для виробництва нової паперової продукції, на відміну від целюлозних комбінатів, які використовують деревну масу. Проте такі картонно-паперові фабрики є однією з галузей промисловості, які викликають занепокоєння щодо постійного скидання небезпечних речовин у водойми без попереднього очищення стічних вод. Неочищені води картонно-паперової фабрики можуть спричинити катастрофічні наслідки для навколишнього середовища, включаючи знищення рибальства та забруднення питної та зрошувальної води [10].

На картонно-паперових фабриках із використанням як сировини макулатури звичайними шкідливими речовинами, що містяться у водній системі, є крохмаль (перероблений природний крохмаль або катіонний крохмаль), леткі жирні кислоти, отримані з бактерій на вторинному папері, забрудненому під час його використання, зберігання, солі (карбонат кальцію з наповнювача та пігменту покриття, силікати з видалення фарби та клеїв, алюміній сульфат від процесу проклейки та добавок, що сприяють покращенню характеристик паперу). Склад стічних вод наведений в таблиці 1.2 [11].

Отже, незважаючи на екологічність, відновлений папір представляє широкий спектр забрудників у воді через різноманітну природу макулатури. Ці стічні води мають високі концентрації завислих і розчинених речовин. Характеристику стічних вод картонно-паперової фабрики наведено в таблиці 1.3 [10].

Таблиця 1.2. Склад і походження поширених шкідливих речовин [11]

Хімічні речовини	Походження
Натрій силікат	Відбілювання, видалення барвників, макулатура
Поліфосфат	Наповнювач-диспергатор
Поліакрилат	Наповнювач-диспергатор
Крохмаль	Покриття
Барвники	Макулатура
Адгезивні речовини	Макулатура

Таблиця 1.3. Характеристика стічних вод картонно-паперової фабрики [10]

Параметри	Одиниця виміру	Діапазон
pH	-	7,0-7,7
Температура	°C	35-45
ХСК	мг/дм ³	3770-9330
БСК _{повн}	мг/дм ³	816-2495
NH ₄ ⁺	мг/дм ³	1,4-3,8
Мінеральні речовини	мг/дм ³	200-892
Завислі речовини	мг/дм ³	603-8495

Видалення барвників з відновленого паперу впливає на зовнішній вигляд продукту. Однак відбілювання не обов'язкове для всіх видів паперу, але результатом такого процесу є сіруватий відтінок у воді, який переходить на паперовий продукт. Для сортів, які вимагають високого рівня білизни, таких як папір санітарно-гігієнічного призначення, папір для друку і письма, – необхідне видалення фарби. Такі хімічні речовини, як-от пероксид водню, хелатні агенти, солі кальцію, хлоровані сполуки, а також інші, які утворюють стійкі сполуки та додаються для знебарвлення паперу, змиваються та обробляються як забрудники в потоці стічних вод [12].

Крім того, солі також вважаються шкідливими для процесу, оскільки їх накопичення може викликати корозію деталей устаткування і вплинути на міцність паперових виробів. Високі концентрації солей зменшують потенціал набухання волокон за рахунок збільшення осмотичного тиск розчину. Ці речовини є більш помітними в підсітковій воді, що утворюється в процесі використання низькоякісної змішаної макулатури як сировини.

У стічних водах зустрічаються катіони кальцію (Ca^{2+}), оскільки у макулатурі міститься наповнювач та пігмент покриття з карбонату кальцію. Розчинені неорганічні речовини класифікують на 2 групи: з великим розміром іонів і малою густиною заряду (Ti, Si, Fe, Al) і малим розміром іонів з високою густиною заряду (Na, Ca, Mg, K), які також легко гідратуються. Іони першої групи часто не зустрічаються у великій кількості, оскільки вони зазвичай включені в паперові вироби через високу іонну спорідненість до целюлозного волокна. Друга група, з іншого боку, накопичується в підсітковій воді, коли вода повторно використовується. На іони кальцію зазвичай припадає більше половини всіх розчинених неорганічних речовин. Сорбція Ca^{2+} конкурує та знижує ефективність полімерних добавок, оскільки катіони адсорбуються на поверхні целюлозного волокна. Сорбційна здатність волокон є функцією початкової концентрації катіонів і рН. Як міцність зв'язування, так і сорбційна здатність Ca^{2+} зростає зі збільшенням рН. Високий рН збільшує заряд волокна, що призводить до більшого доступного місця для сорбції Ca^{2+} . Крім того, за високої температури можуть утворюватися відкладення карбонату кальцію. Жорстка вода, у свою чергу, ще більше зменшує термін служби обладнання та збільшує витрати на очищення труб. Чим вищий вміст або наявність солей простих іонів, тим більш корозійною є підсіткова вода.

Стічні води заводів із переробки паперу вважають багатими на сульфати через використання алюмінію сульфату. Результатом надлишку сульфату алюмінію може стати:

- збільшення витрат на технічне обслуговування заводу, оскільки накопичення галуни спричиняє корозію обладнання для виробництва паперу;

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

- утворення сірчаної кислоти на готовому продукті через реакцію надлишку галунів з вологою в повітрі, в результаті чого погіршується паперове волокно, отже, і якість паперу;
- утворення пластівців у пульпі, що призводить до проблем у процесі формування аркушів;
- за наявності бактерій, що відновлюють сірку, утворення H_2S та інших сірковмісних сполук, які викликають неприємний запах.

Крім того, поширеним є накопичення клейких речовин, що утворюються в операціях з переробки паперу. Ці речовини не розчиняються у воді навіть після пульпування і повертаються назад у папір. Під дією тепла та тиску ці частинки дробляться на більш дрібні, а потім застрягають у папероробному обладнанні, створюючи паперовий продукт низької якості або спричиняючи розрив аркуша в процесі сушіння [5].

1.6 Загальна характеристика водного господарства та локальних очисних споруд виробничих стічних вод ТзОВ ПКПФ – Україна

Стічні води, що потрапляють на очисні споруди, утворюються на фабриці (98,5%). Також на очисні споруди відводяться господарсько-побутові стічні води від смт. Понінка (1,5%). Схема водозабезпечення та водовідведення ТзОВ ПКПФ «Україна» наведена на рисунку 1.1.

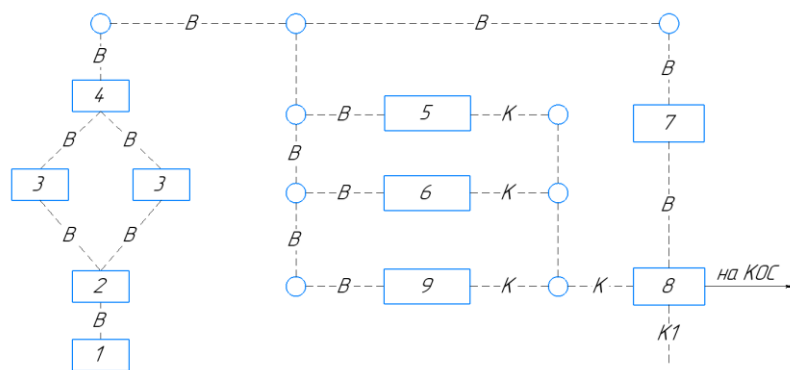


Рис. 1.1 Схема водозабезпечення та водовідведення ТзОВ ПКПФ «Україна»:

1 – насосна станція 1-го підйому; 2 – станція очистки води; 3 – резервуари питної води (2 шт. по 1000 м³); 4 – насосна станція II-го підйому; 5 – паперова машина №1; 6 – паперова машина №4; 7 – паперова машина № 6; 8 – КНС (каналізаційна насосна станція); 9 – ТЕЦ; -В- – водопровід; -К- – каналізація; -К1- – сільська каналізація.

Технологічним процесом виготовлення картону на фабриці передбачено повторне використання води з системою оборотного водопостачання і локальними очисними спорудами (рис. 1.2).

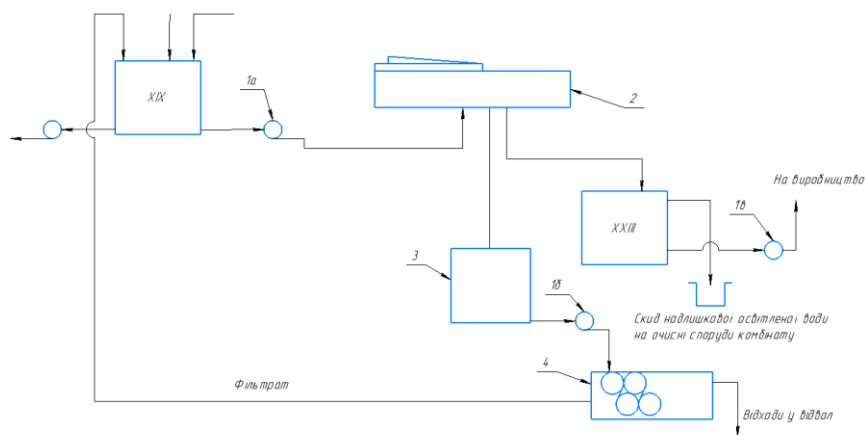


Рис. 1.2. Схема очистки оборотної води ТзОВ ПКПФ «Україна»:

1а – насос подачі надлишкової води; 1б – насос подачі шлам; 1в – насос подачі освітленої води; 2 – флотопастка; 3 – збірник шлам; 4 – шлам-прес; XIX = збірник оборотної води; XIII – збірник освітленої води

Оборотна вода від виробництва подається в басейн-буфер оборотної води (XIX). Звідти частина води подається на виробництво, а надлишкова оборотна вода насосом (1а) подається на подальше очищення у флотопастку (2), де відбувається розділення під тиском на тверду і рідку фази.

Очищення оборотної води відбувається в кілька стадій:

- введення повітря в освітлену воду в камері аератора;
- розчинення повітря у воді;
- знепінення водоповітряного розчину після декомпресійної засувки;
- змішування з водою у ванні та утворення флокул;
- відділення флокул від води з утворенням піни на поверхні;
- відділення піни з поверхні.

Підготовлений сфлокульований шлам самопливом надходить у збірник осаду (3). Звідти насосом (1б) через регулювальну засувку та розподільчий пристрій подається на верхню фільтрувальну стрічку фільтр-преса для подальшого зневоднення. Отриманий фільтрат, що надходить зі збірників фільтрату та жолобів перфорованих валів, надходить в корито під фільтр-пресом, звідки самопливом повертається в басейн-буфер оборотної води (XIX). Зневоднений шлам у вигляді кеку вивантажується у відвал для подальшого транспортування. Освітлена вода надходить в басейн-буфер освітленої води (XXIII). Звідти насосом (1в) подається на виробничі потреби – розбавлення відходів сортувалок. Надлишок освітленої води надходить на споруди біологічної очистки фабрики.

В технологічних процесах очистки оборотної води на підприємстві використовують наступні реагенти: флокулянт ФеноПол К7458 і флокулянт ФеноПол А7507 виробництва «Kemira», Фінляндія. На дані реагенти і їх застосування в процесах очистки води є позитивні висновки санітарно-епідеміологічної експертизи.

Попередньо очищені фізико-хімічним методом освітлені надлишкові води від виробництва, надходять на очищення на позамайданчикові очисні споруди біологічної очистки стічних вод, де і відбувається їх остаточне очищення разом

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

з господарсько-побутовими стічними водами від смт. Понінка. Очищення виробничих і господарсько-побутових стічних вод ($100 \text{ м}^3/\text{добу}$ – 1,5% від загальної кількості – $7000 \text{ м}^3/\text{добу}$) на теперішній час проводиться на позамайданчикових очисних спорудах механічної та біологічної очистки, потужністю $20 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$. Споруди здані в експлуатацію у 1975 році.

Стічна вода проходить механічне очищення на пісковловлювачах і радіальних відстійниках та біологічне очищення в аерованих біоставках (рис. 1.3). Очищена стічна вода скидається в річку Хомора. Побутові стічні води фабрики та селища потрапляють на насосну станцію перекачування, перемішуються у накопичувальному резервуарі станції з виробничими стічними водами та подаються на позамайданчикові очисні споруди, де проходять повний цикл очищення. Причиною проведення технічного переоснащення вузла біологічної очистки є зміна технології основного виробництва, як порівняти з тією, яка планувалась в період проектування очисних споруд в середині 70-х років XX століття. Зміна номенклатури продукції, що виробляється на фабриці, та, відповідно, сировини і технології виробництва, призвели до зміни характеру та концентрації забруднень у виробничих стічних водах і, як наслідок, вимагають інтенсифікації процесу біологічного очищення.

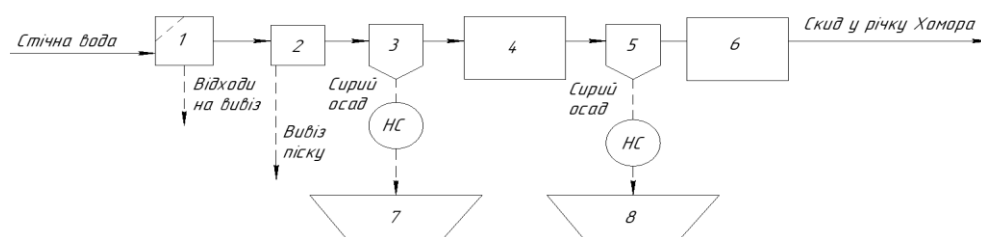


Рис. 1.3. Схема очисних споруд ПКПФ:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник; 4 – біологічний ставок I ступінь; 5 – вторинний відстійник; 6 – біологічний ставок II ступінь; 7 – муловий майданчик; 8 – піщаний майданчик; НС – насосна станція.

1.7 Характеристика стічних вод ТзОВ ПКПФ – Україна

Витрата стічних вод, що надходять для очистки на очисні споруди, встановлена завданням на проектування і становить 7000 м³/добу.

Проектна продуктивність вузла біологічної очистки – 7000 м³/добу;

Добова витрата стічних вод – $Q_d = 7000 \text{ м}^3/\text{добу}$;

Середня годинна витрата – $Q_{\text{год}} = 292 \text{ м}^3/\text{год}$;

Середня секундна витрата – $Q_c = 7000000 : 86400 = 81 \text{ дм}^3/\text{с}$;

Загальний макс. коефіцієнт годинної нерівномірності – $K_{\text{мах}} = 1,1$;

Максимальна годинна витрата стічних вод – $Q_{\text{год}} = 7000 \times 1,1/24 = 321 \text{ м}^3/\text{год}$;

Максимальна секундна витрата стічних вод – $Q = 81 \times 1,1 = 89 \text{ дм}^3/\text{с}$.

Визначені фактичні концентрації забруднень в стічних водах представлені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Середні фактичні концентрації забруднень в стічних водах ТзОВ
ПКПФ – Україна

Показники	Од. вимірювання	Величина на вході (після усереднювача)	Величина на виході	Нормативи ГДС забрудників
pH	-	6,3	6,8	6,5-7,5
нітроген амонійний	(мг/дм ³)	1,03	0,97	8,20
нітрити	(мг/дм ³)	0,045	1,20	3,30
нітрати	(мг/дм ³)	6,30	5,00	50,40
фосфати	(мг/дм ³)	1,88	2,76	9,15

Продовження таблиці 1.4

завислі речовини	(мг/дм ³)	1500	17,5	20,00
ХСК	(мгО ₂ /дм ³)	3200	180	80,00
БСК _{повн}	(мгО ₂ /дм ³)	2000	120	28,60

1.8 Висновок

Переробка паперу є однією з найбільш затребуваних послуг серед різних підприємств. Такий матеріал можна використовувати у виробництві нової паперової продукції. Крім того, майже всі види паперу підлягають переробці. Вода відіграє важливу роль у виробництві паперу, і вона використовується майже в кожній частині процесу виробництва. Щонайменше 80% технологічних стічних вод виробництва паперу включають завислі речовини, високі показники ХСК та БСК, що складають волокна целюлози, аліфатичні, терпенові і ароматичні вуглеводні, спирти, жирні кислоти.

З огляду на проблеми недоведення концентрацій забрудників до вимог скиду, важливо оптимізувати передові процеси очищення стічних вод ТзОВ ПКПФ – Україна для екологічно безпечного скидання або повторного використання. Повне очищення стічних вод є обов'язковим у багатьох випадках через їх великі витрати і кількість забрудників під час роботи підприємства.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ

Для очищення стічних вод з високою концентрацією органічних забруднень, що складно розкладаються, за показниками БСК і ХСК (понад 1000 мг/дм³) найчастіше використовують комбінацію анаеробних та аеробних методів. В таких технологіях анаеробна обробка використовується для початкового зниження рівнів органічних забрудників, водночас аеробна обробка застосовується як вторинний етап подальшого зниження БСК, оскільки за анаеробних процесів ефективність очищення за БСК складає 60-75%, і достатньо не видаляються сполуки нітрогену і фосфору. Для висококонцентрованих стічних вод також може використовуватися двоступенева аеробна технологія, проте, за неї важкоокиснювані речовини будуть погано розкладатися.

Загалом використання обох методів послідовно забезпечує ефективнішу обробку, ніж якби аеробну та анаеробну системи використовували окремо. Рішення використовувати обидві технології, як правило, призводить до вищих капітальних витрат, але до нижчих експлуатаційних витрат і витрат на утилізацію відходів. Доцільність використання одного чи обох методів біологічного очищення в кінцевому підсумку залежить від унікального застосування та умов процесу на об'єкті [13].

Отже, вибрано двоступеневе анаеробно-аеробне біологічне очищення для стічних вод картонно-паперової фабрики.

2.1 Метод анаеробного очищення

Анаеробний метод використовується для очищення стічних вод картонно-паперових фабрик з середини 1980-х років. Розвиток різноманітних високошвидкісних анаеробних процесів і утворення набагато більш концентрованих стічних вод целюлозних заводів роблять від анаеробної обробки

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробила		Коваленко Г.Є.			Аналіз технологій і методів біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Саблій Л.А.					33	126
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81		
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.						

економічну вигоду більш значною. До неї належить менша потреба в енергії, оскільки не потрібна аерація, та експлуатаційних витратах, а також виробництво корисного енергетичного побічного продукту у вигляді газу метану. Після збору цього газу можна проводити його повторне використання як джерело енергії під час повномасштабних очисних процесів (спалювання для виробництва тепла). Також до переваг анаеробних систем очищення відносять зменшення об'єму надлишкового мулу, що утворюється через низький вихід клітин анаеробних бактерій. Мале утворення надлишкового мулу робить анаеробні методи очищення особливо привабливими, оскільки утилізація великого приросту мулу стає основною проблемою для системи аеробної обробки. Анаеробні бактерії мають низьку потребу у поживних речовинах, що також є плюсом очищення стічних вод з дефіцитом нітрогену і фосфору [14]. Але істотним недоліком є висока чутливість анаеробних організмів, особливо метаногенних, і тривалий час підготовки біомаси до початку роботи реакторів (більше 15 днів), оскільки анаеробні мікроорганізми ростуть дуже повільно [15].

2.1.1 Характеристика анаеробних процесів

Анаеробне метанове бродіння широко поширене в природі (розкладання органічних речовин у болотах, ґрунті, в організмі тварин у рубці тощо). Біогаз, що утворюється в цьому процесі, є сумішшю метану (50-80%), вуглекислого газу (20-50), незначних кількостей сірководню, азоту, кисню, водню, аміаку та закису вуглецю. Не маючи доступу ні до кисню, ні до інших акцепторів електронів (нітрат, сульфат, сірка), мікроорганізми змушені використовувати для цієї мети вуглець органічних речовин, що і призводить в кінцевому підсумку до найбільш сильно відновленої карбонової сполуки – метану, що існує в природі. Водночас інша частина карбону органічних сполук виступає як донор електронів, окисляючись до вуглекислого газу – другого основного компонента біогазу.

Дезінтеграція органічних речовин під час метаногенезу здійснюється як багатоступінчастий процес, у якому карбон-карбонові зв'язки поступово руйнуються за каталітичною дією різних груп мікроорганізмів. Згідно з

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

сучасними уявленнями, анаеробне перетворення практично будь-якої складної органічної речовини в біогаз проходить через 5 послідовних стадій:

- дезінтеграція, коли складні клітинні утворення розпадаються на окремі біополімери: білки, ліпіди, полісахариди тощо;
- гідроліз (розчеплення) складних біополімерних молекул на простіші оліго- і мономери: амінокислоти, вуглеводи, жирні кислоти;
- ферментація (бродиння) мономерів до ще більш простих речовин: нижчих кислот і спиртів, водночас утворюються також вуглекислота та водень;
- ацетогенез, результатом якого є безпосередні попередники метану: ацетат, водень, вуглекислота;
- метаногенез, що призводить до кінцевого продукту деградації складних органічних речовин – метану [14].

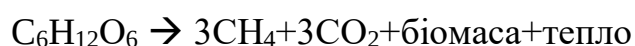
Весь цей складний комплекс перетворень (за винятком дезінтеграції, яка може відбуватися і в результаті небіологічних процесів) здійснює велика кількість мікроорганізмів. Переважними є гідролітичні, бродильні, синтрофні та метанові групи. Кількісний та якісний склад мікрофлори сильно залежить від складу стічних вод та умов, які створюються в реакторі. У метаногенній системі між групами мікроорганізмів існують тісні та складні взаємозв'язки. Розвиток метаногенів неможливий без їх взаємодії з бактеріями, що діють на попередніх стадіях метаногенезу. Найпоширеніші роди бактерій, що беруть участь у анаеробному процесі метанового бродиння, – це *Methanothrix*, *Methanosarcina*, *Methanosaeta*, *Methanospirillum*, *Methanobacterium*, *Clostridium*, *Propionibacterium* [15].

Центральним метаболітом, що здійснює основну регуляторну функцію в метаногенному суспільстві, є водень. Завдяки наявності безлічі симбіотичних зв'язків між різними мікроорганізмами, коли продукти життєдіяльності одних є субстратами для інших, метановий біоценоз є пластичною системою, що саморегулюється та підтримує значення рН, окисно-відновний потенціал та інші фактори середовища. У метаногенній системі також присутня велика кількість мікроорганізмів, які не беруть активної участі в процесі деградації, але

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

відіграють важливу роль у забезпеченні інших бактерій ростовими факторами, видаленні токсичних продуктів анаеробного метаболізму та підтримці оптимальних умов анаеробіозу. Усе це забезпечує стабільність метаногенних мікробних систем.

Низький приріст біомаси за умов анаеробного очищення стічних вод пояснюється малим енергетичним виходом реакцій, що здійснюються метановим біоценозом. За анаеробного зброджування, наприклад глюкози, за сумарною реакцією



тільки 8% енергії витрачається на приріст біомаси, 3% становлять теплові втрати і 80% переходить метан, водночас у аеробних процесах 50% енергії витрачається на приріст біомаси, а решта 50% перетворюються на тепло. В результаті в анаеробних процесах утворюється лише зайві 0,03-0,06 кг біомаси (в аеробних - 1 кг) на кожен видалений кілограм БСК. Генерація таких малих кількостей анаеробної мулу, що володіє великим вихідним вмістом сухої речовини (до 100 г/дм³), високими зольністю і стабільністю, а також хорошими водовіддавальними властивостями, дозволяє зневоднювати його без застосування реагентів за допомогою центрифуг, стрічкових фільтр-пресів та інших пристроїв. Зневоднений анаеробний мул є високоякісним органомінеральним добривом, яке можна використовувати без особливих обмежень, оскільки воно не містить патогенних мікроорганізмів, а термофільний мул до того ж багатий на вітамін В₁₂, тому може застосовуватися як харчова добавка в корм крупної рогатої худоби. Високоякісний гранульований мул багатьох сучасних анаеробних реакторів успішно реалізується як інокулят для швидкого запуску новозбудованих очисних споруд. Низьким виходом енергії в процесі метанового бродіння, зокрема, пояснюється важлива властивість мікроорганізмів метанового біоценозу: можливість тривалий час (місяці) обходитися без субстрату зі швидким відновленням активності після відновлення харчування. Однак малий енергетичний вихід призводить до відносно невеликих швидкостей росту і метаболізму відповідних мікроорганізмів, що потребує суттєвого збільшення їх

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

концентрації (утримання біомаси) у системі для розробки інтенсивного процесу обробки стічних вод.

Іншою найважливішою властивістю мікроорганізмів метанового біоценозу, крім низького приросту біомаси, є формування агрегатів біомаси (самоімобілізація) в результаті мікробіологічних, хімічних та фізичних процесів, що відбуваються на межі розділу рідкої та твердої фаз. Відкриття цього унікального феномену, який отримав назву «грануляція біомаси», призвело до революції в реакторобудуванні для процесів анаеробного очищення стічних вод та прискореного впровадження цих технологій у практику [15].

2.1.2 Анаеробні реактори

Багато різних типів реакторів використовують для анаеробних процесів очищення стічних вод. Найбільш загальноприйнята класифікація анаеробних реакторів заснована на формі макроструктур метаногенної біомаси в них. За цим принципом всі конструкції можна розділити на реактори з біомасою (мулом), що перебуває у завислому стані та седиментує, 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, перегородчатий реактор. До другого типу відносяться біофільтр з низхідним потоком та реактор з псевдозрідженим шаром. Низка конструкцій поєднують у собі елементи обох типів реакторів.

Сьогодні високошвидкісні анаеробні реактори, тобто UASB і реактори EGSB та їх похідні, найбільш широко застосовують для анаеробного очищення промислових стічних вод, маючи близько 90% частки ринку від усіх встановлених систем. Їх популярність для очищення промислових стічних вод можна віднести до зручності експлуатації та компактності під час використання [16].

До перших швидкісних реакторів належать анаеробні біофільтри. У той час як перші анаеробні біофільтри застосовувалися ще в дев'ятнадцятому столітті,

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

застосування для очищення промислових стічних вод почалося в 1960-х роках у США. У таких реакторах утворюється біоплівка, в якій біомаса утримується на основі (1) прикріплення біоплівки до твердого (нерухомого) матеріалу-носія, (2) захоплення частинок мулу між проміжками завантаження та (3) седиментації та утворення агрегатів мулу, що дуже добре осідають. Технологію анаеробного біофільтра можна застосовувати в реакторах з висхідним і низхідним потоком. Були досліджені різні типи синтетичних та натуральних фільтрувальних матеріалів, щоб використовувати їх у анаеробних біофільтрах. Результати досліджень показали, що форма, розмір, вага, питома поверхня та пористість завантаження є важливими аспектами. Крім того, важливі властивості адгезії поверхні для прикріплення бактерій. Застосовуючи належний фільтрувальний матеріал, системи можуть бути швидко запуснені завдяки ефективному прилипанню анаеробних організмів до інертного носія. Легкість запуску була основною причиною його популярності у вісімдесятих і дев'яностих роках. Проблеми з системами зазвичай виникають під час тривалої експлуатації. Основним недоліком анаеробного біофільтра є складність підтримки необхідного контакту між мулом і стічними водами, оскільки легко відбувається колюматація фільтрувального матеріалу. Ці проблеми із засміченням — принаймні частково — можна подолати шляхом застосування первинного відстійника. Однак це потребує будівництва та експлуатації додаткових споруд. Крім того, крім вищих витрат, це не повністю усуне проблему колюматації. Досвід роботи з системою досить задовільний; застосовуючи від помірної до відносно високої швидкості органічного навантаження до 10 кг ХСК/(м³·добу). Система анаеробного біофільтра залишається переважно привабливою для очищення стічних вод. З іншого боку, тривалі проблеми, пов'язані із колюматацією та стабільністю фільтрувального матеріалу, призвели до зменшення кількості встановлених повномасштабних систем.

Одним із найбільш видатних і значущих досягнень у високошвидкісній технології анаеробної обробки є винахід UASB реактора Дж. Леттінгою та ін. (1976, 1980) у Нідерландах. Утримання осаду в такому реакторі ґрунтується на

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

утворенні агрегатів, що добре осідають (флокули або гранули), і на застосуванні внутрішнього пристрою розділення газ–рідина–тверді речовини (GLSS) у формі зворотної лійки. Повідомляється про багато успішних результатів роботи в лабораторних і пілотних масштабах із застосуванням анаеробного гранульованого мулу, що призвело до встановлення тисяч повномасштабних реакторів по всьому світу. Перші реактори UASB були встановлені для очищення стічних вод сільського господарства та харчової промисловості, а потім у 1983 році були використані для очищення стічних вод картонно-паперових фабрик (Habets and Knelissen 1985). Стічна вода рухається висхідним потоком через реактор UASB, однак, на відміну від анаеробного біофільтра, у UASB немає фільтрувального матеріалу. У системі можна досягти хорошої здатності мулу до осідання, малих тривалостей, заощадження на вартості фільтрувального матеріалу, високих концентрацій біомаси (до 80 г/дм³), ефективного розділення твердих/рідинних частинок і роботи за високих органічних навантажень (4–15 кг ХСК/(м³·добу)). Одне з головних обмежень цього процесу – неможливість очищувати стічні води з високою концентрацією завислих речовин, які перешкоджають утворенню щільного гранульованого мулу [17].

Системи з псевдозрідженим шаром вважають другим поколінням анаеробних реакторів із шаром мулу, які можуть оброблювати високі органічні навантаження (у лабораторному масштабі – 30–60 кг ХСК/(м³·добу), у повному масштабі – 20–40 кг ХСК/(м³·добу)). Процес у псевдозрідженому шарі заснований на прикріпленні бактерій до нефіксованих або рухомих носіїв, наприклад дрібний пісок (0,1-0,3 мм), базальт, пемза або пластик. Хороший масообмін внаслідок турбулентності рідини та високої швидкості потоку навколо частинок, меншого засмічення через розширення шару мулу та великої питомої площі поверхні носіїв невеликих розмірів роблять реактори із псевдозрідженим шаром високоефективними. Однак довготривала стабільна робота виявляється проблематичною. Система заснована на формуванні більш-менш однорідної (за товщиною, щільністю, міцністю) прикріпленої біоплівки. Щоб підтримувати

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

стабільний розвиток біоплівки, завислі речовини повинні бути відсутніми в стічній воді. Незважаючи на це, рівномірну товщину плівки дуже важко контролювати, і в багатьох ситуаціях відбувається поділ різних типів біоплівки по висоті реактора. У повномасштабних реакторах частинки носія можуть відокремлюватися від біоплівки, що призводить до проблем з експлуатацією. Щоб утримувати біоплівку в реакторі, необхідні регулювання потоку, після якого матеріал носія почне накопичуватися в нижній частині реактора у вигляді свого роду нерухомого шару, водночас будуть присутні агрегати (відокремлені біоплівки) у верхній частині реактора. У реакторі типу Anaflux використовують потрібний фазовий сепаратор у верхній частині реактора, більш-менш подібний до пристрою у реакторах UASB. Коли шар біоплівки, прикріплений до носія, стає надмірно розвинутим, і відповідні (легші) агрегати згодом накопичуються в сепараторі, носії періодично видаляють з реактора зовнішнім насосом і очищують від залишків біоплівки. Потім і носії, і відокремлена біомаса повертаються в реактор, а вільна біомаса потім вимивається із системи. Таким чином регулюється щільність середовища та створюється більш однорідний шар в реакторі. Через застосовані високі швидкості потоку рідини вгору, тобто до 10 м/год, досягається відмінний контакт рідини з біомасою. Система застосовується для стічних вод з концентрацією завислих речовин $<500 \text{ мг/дм}^3$. Більшість повномасштабних анаеробних реакторів із псевдозрідженим шаром встановлено за принципом реакторів типу Anaflux. Тим не менш, на сьогодні реактори EGSB представляють набагато більший комерційний інтерес для повномасштабних застосувань, ніж дорожчі системи із псевдозрідженим шаром [17].

В середині 90-х років було розроблено модифіковану версію реактора UASB, який також належить до другого покоління анаеробних реакторів. Він відомий як реактор із розширеним та завислим шаром гранульованого мулу (EGSB) з вищою швидкістю висхідного потоку для забезпечення кращого перемішування. Ці високі швидкості рідини разом із підйомною дією газу, що виділяється в шарі, призводять до розширення шару мулу. І в результаті цього в системі переважає відмінний контакт між мулом і стічними водами та ефективно

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

використання всього об'єму реактора. EGSB є вищою за висотою конструкцією модифікацією UASB, яка має більшу швидкість висхідного потоку (6-15 м/год) та рециркуляцією стічних вод. Гранульований мул у реакторі EGSB дає змогу підвищити швидкість висхідного потоку рідини до 10 м/год, як порівняти з 0,5-1,5 м/год лише в реакторі UASB. Висока кінетична енергія стічних вод призводить до інтенсивного контакту органічної речовини з мулом. Реактори EGSB мають велике співвідношення висоти до діаметра, висота реакторів досягає 25 м. Оскільки принцип роботи систем EGSB заснований на роботі гранульованого мулу, ефективне відділення мулу у верхній частині системи є надзвичайно важливим. На відміну від UASB, EGSB має високу адаптацію до низьких температур і великої концентрації забрудників стічних вод, вищу вартість і більшу тенденцію до винесення біомаси. Інші покращені характеристики EGSB, як порівняти з UASB, включають хорошу метаногенну активність і здатність до осідання гранульованого мулу, розширений шар мулу, більш високі показники органічного навантаження (до 40 кг ХСК/(м³·добу)), більший вихід газу, а також кращі шанси отримати більший гідростатичний тиск на мул у нижній частині реактора. У разі високих показників завантаження мулу здатність до осідання зменшується через утримання біогазу в гранулах. EGSB здебільшого використовують для очищення низькоконцентрованих стічних вод (менше 1 г/дм³ ХСК) з низькою температурою (10°C), оскільки вартість вища, ніж реактора UASB [17-18].

Якщо реактори, наприклад, UASB і EGSB засновані на тому, що вміст повністю змішується, то є різні конструкції, які використовують поетапність різних фаз анаеробної обробки. Прикладом є двостадійний процес, де стадія окислення повністю відокремлена від стадії метаногену. Хоча повне розділення цих етапів спочатку показало хороші результати в лабораторних дослідженнях, на практиці стадія ацетогенезу повинна супроводжуватися подальшою нейтралізацією утворених кислот. Занадто високий ступінь попереднього підкислення негативно впливає на стабільне формування гранул. З одного боку, завислі речовини, які утворюються під час підкислення і які згодом переносяться

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

в метаногенну стадію, погіршують стабільність шару гранульованого мулу. З іншого боку, наявність ферментативного перетворення субстрату ацидогенами є обов'язковим для виробництва достатньої кількості позаклітинної полімерної речовини, необхідного для утворення стабільної гранульованої структури з високою міцністю гранул. Різні автори припускають, що ці речовини виробляються особливо ацидогенами, створюючи матрицю, в яку вбудовані всі бактерії та археї. В реакторі ABR вода рухається горизонтально у серії керованих висхідних установок без газорозподільного сепаратора. Незважаючи на те, що науковці намагалися очищувати побутові стічні води за допомогою ABR, він не був розроблений далі пілотного масштабу. Проблемою є те, що поверхнева швидкість рідини в систем значно вища, ніж у одноступінчастому реакторі з шаром мулу. У результаті біомаса може повільно рухатися разом з потоком рідини через різні відсіки. Хоча концепція поетапного реактора показала багатообіцяючі результати в пілотному масштабі, дуже мало, хто використовує такі системи.

Гібридні системи створені для використання переваг двох або більше особливостей анаеробних реакторів. Як приклад, гібрид UASB-реактора та реактора з фіксованою плівкою може запропонувати швидший запуск системи, ніж реактори самостійно. Інші особливості такого гібридного анаеробного реактора: висока концентрації біомаси, що призводить до малого об'єму реактора; зменшення ризику вимивання біомаси; більша стійкість до токсичних органічних навантажень завдяки наявності як гранульованої, так і фіксованої біомаси. Основним недоліком може бути можливе замулення фільтрувального матеріалу і потенційні труднощі оптимізації двох процесів, фізично розміщених в одній ємності для широкого діапазону потоків та умов завантаження [19].

Отже, для першої стадії біологічного очищення необхідно визначитися з двома анаеробними реакторами, що насамперед демонструють хороші показники вилучення органічних речовин за показником ХСК за оптимальних тривалостей. Також варто звернути увагу на можливість якомога меншого вимивання анаеробної біомаси зі стічною водою, що йде на стадію аеробного очищення, та

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

вихід біогазу. Звісно, не слід відкидати економічну та експлуатаційну складові вибору.

2.1.3 Вибір анаеробного реактора

Небагато реакторів мають змогу очищувати стічні води з високими концентраціями органічних забруднень за малі проміжки часу. Анаеробний реактор з перегородками (ABR) є цікавою системою, проте, навіть модифікований ABR потребує більше доби, щоб очистити стічні води картонно-паперової фабрики з ефектом 70-90% ХСК [20-22]. Найпоширенішим гібридним реактором є такий, що поєднує UASB-реактор та анаеробний біофільтр. Такі реактори здебільшого використовують для дуже високих величин показника ХСК (до 20000 мг/дм³ і більше) і значно видаляють органічні забруднення. Тим не менш, для цього потрібні великі тривалості – 24 години і більше, причому ефективність збільшується відповідно (52% до 73%) [23]. Індійські науковці також використовували гібридний реактор для стічних вод з ХСК 16500 мг/дм³ з тривалістю очищення 70 і 60 годин з ефективністю видалення 88% і 86% відповідно [24]. У 2015 році [25] проводили експеримент зі стічними водами картонно-паперової фабрики з ХСК на вході 2950 мг/дм³, в результаті за найменшої тривалості 8 годин ефективність видалення становила 42%. За 20 і 24 годин ефективність збільшилася до 76 і 80% відповідно. Ранні роботи застосування реакторів з псевдозрідженим шаром присвячено аеробному окисненню та денітрифікації, тому багато систем використовують саме з метою проведення цих процесів для очищення промислових або господарсько-побутових стічних вод [26]. Реактори із псевдозрідженим шаром, як і всі реактори, на початку розробки проводили анаеробну обробку стічних вод з високими величинами ХСК за великих тривалостей, але є і дані видалення 75% ХСК зі стічних вод харчової промисловості за 7,5 годин [27]. Також є інформація про те, що осідання мулу у відстійнику після реактора із псевдозрідженим шаром є гіршим, ніж мулу після UASB-реактора, за рахунок більшого спінювання в першому. Оскільки всі реактори мають тенденцію до виносу гранульованого мулу, необхідно використовувати вторинні відстійники після них. Мале

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

винесення гранульованого мулу є важливою характеристикою, проте, вибір спрямований на успішне видалення важкоокиснюваних органічних речовин. Це можуть забезпечити реактори UASB, EGSB та SGBR, останній з яких працює подібно анаеробному біофільтру. EGSB-реактор є високовартісною та удосконаленою системою UASB, тому через це його використовують для ХСК менше 1 г/дм³ та стічних вод з низькою температурою [17-18]. Середня температура стічних вод картонно-паперової фабрики становить 22°C. У висновку є сенс розглянути реактори UASB і SGBR в тому числі і через можливість застосування малих тривалостей перебування стічних вод в реакторі.

2.2 Метод аеробного очищення

2.2.1 Аеробні процеси

Анаеробні та аеробні системи є методами біологічного очищення, в яких використовують мікроорганізми для руйнування та видалення органічних забруднень зі стічних вод. Незважаючи на те, що обидва покладаються на процес мікробного розкладання, ключова відмінність між анаеробним і аеробним очищенням полягає в тому, що в аеробних системах потрібен кисень [13].

Аеробне очищення стічних вод — це біологічний процес, у якому використовується кисень для розщеплення органічних забруднень та інших забруднювачів, як-от сполуки нітрогену та фосфору. Аеробні системи вимагають певних засобів подачі кисню до біомаси, що може бути досягнуто очисними ставками (які створюють велику площу поверхні для проникнення повітря в стічні води) та/або шляхом включення певного типу механічного або пневматичного пристрою аерації. Здебільшого аеробні системи підходять для очищення стічних вод, концентрація органічних речовин за ХСК яких становить менше 1000 мг/дм³), водночас анаеробні системи підходять для очищення висококонцентрованих стічних вод (ХСК від 1000 мг/дм³). Тому аеробне очищення зазвичай використовують для очищення промислових стічних вод, попередньо оброблених анаеробними методами. Це гарантує, що стічні води

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

доводяться до вимог скиду та можуть бути безпечно відведені у річку відповідно до суворих екологічних норм.

Аеробна очистка стічних вод – це стабільний, простий і ефективний процес. Основна частина органічних речовин у стічних водах повинна бути гідролізована, перш ніж вона може бути поглинута і розщеплена мікроорганізмами. Видалення поживних речовин (денітрифікація та біологічне видалення фосфору) у багатьох випадках обмежене ступенем і кінетикою процесів гідролізу, а тип органічних речовин є важливими для відбору конкретних бактеріальних популяцій. Частинки органічної речовини швидко приєднуються до пластівців мулу, а потім або деградують, або видаляються разом із надлишковим мулом. У будь-якому випадку досягається мета видалення органічних речовин зі стічних вод.

Гідроліз означає розщеплення органічного субстрату на менші продукти, які згодом поглинаються та розкладаються бактеріями. Можна виділити два типи гідролізу: гідроліз первинного субстрату, де органічний субстрат, присутній у вихідних стічних водах, розщеплюється; гідроліз вторинного субстрату, який належить до розщеплення субстрату, який був вироблений бактеріями (наприклад, речовини, що виділяються бактеріями під час нормального метаболізму або під час розпаду бактерій). Гідроліз органічної речовини настільки ж різноманітний, як і частинки та організми, які беруть участь у цьому процесі. Розміри частинок коливаються на порядки, частинки складаються з різних типів органічної речовини, у загальному процесі залучені суміші різних бактерій і вищі організми.

Клітинна стінка прокаріотів не дозволяє більшості бактерій поглинати та розкладати частинки шляхом фагоцитозу. Отже, деградація залежить від позаклітинної деполімеризації з наступним поглинанням клітинами та подальшим метаболізмом. Деякі еукаріоти, як-от гриби та дріжджі, також виділяють ферменти деполімеризації. Деполімеризація зазвичай здійснюється позаклітинними гідролазами та/або ліазами.

Найпростіші безпосередньо поглинають частинки мікрометрового діапазону та руйнують їх внутрішньоклітинно шляхом фагоцитозу. Отже, більшість частинок не вимагає попередньої стадії позаклітинного гідролізу, перш ніж найпростіші зможуть метаболізувати їх. Більшість найпростіших є аеробами, і їх активність значно знижується під час безкисневих та анаеробних умов. Тому діяльність найпростіших може вказувати на ефективність очищення стічних вод в системі. Також частинки, захоплені найпростішими, можуть не повністю метаболізуватися, і найпростіші вивільняють органічну речовину, яку можуть використовувати бактерії.

Більшість досліджень гідролізу проводили з використанням суспендованих культур, а не біоплівки. Однак останні дослідження показують, що загальний ефект гідролізу в біоплівках відрізняється, як порівняти з системами з активним мулом [28]. У системах біоплівки частка твердої органічної речовини, яка не використовується бактеріями, виявляється значною, порівняно з системами з активним мулом. Однак більшість математичних моделей для біоплівки базуються на спочатку розроблених стехіометриях і кінетиці гідролізу для систем з активним мулом.

Два механізми можуть призвести до зниження загального перетворення твердих органічних частинок речовини в біоплівкових реакторних системах: для гідролізу необхідний прямий контакт між частинками органічної речовини і бактерії. Було продемонстровано, що маленькі частинки (1 мкм) можуть легко проникати у матрицю біоплівки [29]. Однак масовий транспорт в біоплівку зменшується зі збільшенням розміру частинок. Ця ситуація відрізняється від флокул активного мулу, які мають більш відкриту структуру і більшу відносну площу поверхні. Другий механізм пов'язаний із часом утримування частинок органічної речовини в біоплівкових реакторах. У системах з активним мулом частинки органічного субстрату змішані з мулом фактично такий самий час в системі, як і бактерії. У біоплівкових системах можна припустити, що великі частинки накопичуються на поверхні біоплівки, де переважно відбувається видалення під час зворотного промивання. Таким чином, час утримування

частинок органічного субстрату в біоплівкових реакторах може бути значно меншим порівняно з утриманням бактерій [30]. Очікується, що із застосуванням технологій наступного покоління, будуть виявлені нові механізми регуляції бактеріальної біоплівки. Вважається, що завдяки неперпинним зусиллям дослідників, біоплівки будуть відігравати все більш важливу роль [31].

Біоплівки, що фіксуються на завантаженні біофільтра, є штучною іммобілізацією, однак, в аеротенку цього можна досягти за допомогою спеціальних носіїв.

2.2.2 Іммобілізація активного мулу

Методи іммобілізації клітин стають все більш успішними, нові методики вивчаються дослідниками, і очікується, що тенденція прогресу в цій галузі продовжиться в найближчі роки. Дослідження довели, що іммобілізація є ефективним і перспективним методом інтенсифікації процесів біологічного очищення стічних вод. Іммобілізовані клітини можуть підвищити ефективність видалення забруднень води більш ніж на 60%. Промислове застосування біотехнологічних стратегій обмежується двома основними факторами: відсутністю довгострокової робочої стабільності та складним відновленням і повторним використанням клітини. Проте клітинна іммобілізація, яка представляє собою обмеження рухливості клітин хімічним або фізичним шляхом може подолати ці недоліки. Застосування клітинної іммобілізації в галузі очищення стічних вод набирає обертів тому, що вона надає кілька переваг, порівнюючи з біодеградацією з використанням вільних клітин, як-от забезпечення високої біомаси, повторне використання клітин, висока механічна міцність, висока стійкість до токсичних хімікатів, покращення генетичної стабільності та усунення проблем вимивання клітин [32]. Один з найбільш перспективних напрямків досліджень є використання цієї технології для зменшення забруднення навколишнього середовища шляхом біодеградації багатьох токсичних сполук. Застосування технології іммобілізації знаходиться на початковій стадії, але результати є багатообіцяючими.

Надзвичайні властивості клітин в іммобілізованому стані, насамперед підвищення метаболічної активності, збільшення швидкості росту, стабільність плазмід і захист від токсичності, можуть сприяти більш широкому мікробіологічному застосуванню технології іммобілізації. Тим не менш, необхідні додаткові дослідження для виявлення механізмів, відповідальних за конкретну фізіологію мікроорганізмів на носіях. На іммобілізацію мікробних клітин і прилипання клітин до твердих поверхонь впливає багато факторів, як-от вік і фізіологічний стан клітин, структура поверхні бактеріальних клітин, поверхневі заряди та гідрофобність. Умови навколишнього середовища, склад середовища та його рН мають здатність змінювати електрокінетичний потенціал клітин, що, у свою чергу, значно впливає на адсорбцію клітин. На іммобілізацію клітин також впливають властивості поверхні адсорбентів.

Вибір носія дуже важливий в технологіях іммобілізації. Носії мають бути нетоксичними; повинні не забруднювати середовище; не розкладатися біологічно; мати високу здатність до адгезії клітинної маси, високу механічну, біологічну та хімічну стабільність, тривалий термін зберігання, відповідні функціональні групи, низьку собівартість, оптимальний рівень дифузії підведення поживних речовин та відведення метаболітів, легке розділення клітин і носія від середовища, легкий процес регенерації. Носії поділяють на органічні, неорганічні та композиційні відповідно до їх хімічного складу. Органічні носії поділяють на природні та синтетичні полімери.

Різні технології іммобілізації мікроорганізмів показали хороші результати у процесах очищення стічних вод від широкого спектру сполук: рефракторна органіка, іони важких металів, сполуки нітрогену і фосфору, промислові барвники. Біодеградація/біотрансформація токсичних забрудників і ксенобіотиків є однією з основних застосувань іммобілізованих клітинних систем. Іммобілізовані клітини характеризуються кращою біодеградацією, ефективністю, ніж вільні клітини. Низькі можливості розщеплення ксенобіотиків мікроорганізмами в завислому стані насамперед пояснюються необоротним зв'язуванням забрудників позаклітинними полімерними речовинами, які

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

перешкоджають ефективному транспорту. Крім того, вільні клітини, що розкладають речовини метаболічною діяльністю, не стаціонарні і не пристосовані до виживання в механічному і екологічному стресах. Техніка іммобілізації цільної клітини у відповідних носіях захищає бактерії від токсичного впливу ксенобіотичних сполук або їх метаболітів. У стічних водах органічні сполуки спочатку адсорбуються на поверхні носія. Це дозволяє мікроорганізмам вивільнити позаклітинні ферменти для попереднього гідролізу органічних ксенобіотиків, а потім транспортувати фрагменти забрудників через клітинну мембрану для окиснення [33].

Більшість досліджень, що стосуються підвищеної здатності до біодеградації іммобілізованих клітин, відносяться до фенолу та його хлорпохідних [34-35]. Імовірно підвищена здатність до розкладання здебільшого пов'язана з оборотною адсорбцією забруднювача на носіях, наприклад, поліуретані або хітозані. Адсорбція токсичних сполук знижує загальний рівень токсичності, що зазвичай призводить до інгібування вільних клітин. *Acinetobacter sp.* штам AQ5NOL 1 іммобілізували Ahmad et al. [34] у геллановій камеді, і, як показали результати, за концентрації фенолу 100 мг/дм³ і вільні, і іммобілізовані бактерії демонстрували однакові здібності до деградації фенолу, водночас за вищих концентрацій фенолу іммобілізовані клітини характеризувались вищою швидкістю деградації. Chung et al. [35] помітили, що у випадку штаму *Pseudomonas putida* CCRC14365 через ефект інгібування субстрату, суспендовані клітини були здатні до деградації фенолу лише в концентрації 600 мг/дм³, коли іммобілізовані клітини були стійкими до 1000 мг/дм³.

В іншому дослідженні [36] гриб *Penicillium citrinum* був іммобілізований за допомогою захоплення в полімерну матрицю з натрію альгінату. Виготовлені носії у формі кульки були використані для видалення Cu(II) із водного розчину. Як порівняти з вільним *P. citrinum*, відсотки видалення Cu(II) склали 84,5% і 82,4%, а величини здатності поглинання виявилася 3,38 мг/г і 3,30 мг/г для

іммобілізованої та вільної біомаси відповідно. Очевидно, іммобілізована біомаса показала високу спорідненість до Cu(II).

Інший експеримент був проведений Jaysudha та Sampathkumar [37] для вивчення видалення фосфатів, нітратів та аміаку з використанням вільних та іммобілізованих морських мікроводоростей *Chlorella salina*. Для іммобілізації використовували носій з альгінату натрію. У підсумку знерухомлені клітини поглинали 99,39% фосфату, а вільні носії і вільні клітини водоростей, відповідно, видаляли лише 37,41% і 81,94% фосфату. Так само 98,72 і 65,83% нітратів були вилучені іммобілізованими клітинами та вільними водоростями відповідно. Отже, іммобілізованими клітинами було поглинуто 98,54% аміаку, як порівняти з вільними клітинами водоростей і вільними носіями без водоростей – 62,04% і 24,94% відповідно. Відсотки видалення проілюстровано на рис. 2.1. Це дослідження довело, що іммобілізовані *Chlorella salina* є перспективним біологічним агентом для видалення забрудників зі стічних вод [32].

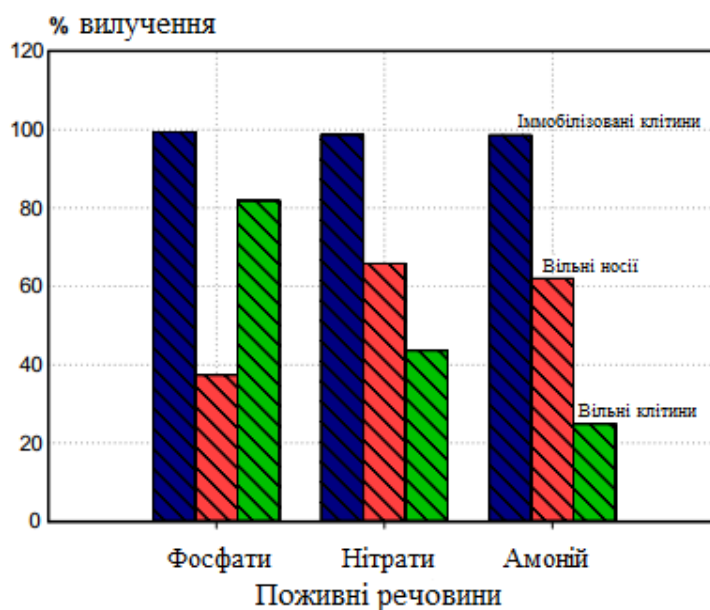


Рис. 2.1 Відсоток видалення фосфатів, нітратів і аміаку з використанням вільних і іммобілізованих морських мікроводоростей *Chlorella salina* та носіїв без водоростей [32]

У підсумку іммобілізовані мікробні системи наразі пропонують різні переваги перед технологіями з вільними клітинами. Різні технології іммобілізації

мікроорганізмів показали хороші результати у процесах очищення стічних вод від широкого спектру сполук: рефракторна органіка, іони важких металів, сполуки нітрогену і фосфору, промислові барвники. Дослідження вказують на те, що кожні стічні води мають унікальний склад та потребують індивідуального підходу до розробки технологій з використанням іммобілізованих мікроорганізмів. Проте науковці продовжують намагатися хоч якось класифікувати основні параметри (носія, мікроорганізмів, умов) для систематизації способів очищення, а вже далі вживають заходів для якісного проведення очищення, включаючи оптимізацію розроблених технологій.

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ АНАЕРОБНО-АЕРОБНОГО БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ

3.1. Обґрунтування і вибір технології біологічного очищення стічних вод

Оскільки стічні води Понінківської картонно-паперової фабрики містять високу концентрацію органічних забруднень, що складно розкладаються, за показниками БСК_{повн} і ХСК (понад 1000 мг/дм³), приймається технологія, що включає дві стадії біологічного очищення: перша – анаеробна, друга – аеробна. В цій технології анаеробна обробка передбачає початкове зниження рівнів органічних забрудників, водночас аеробна стадія застосовується як вторинний етап подальшого зниження БСК_{повн}, оскільки ефективність очищення за БСК_{повн} за анаеробних процесів складає 60-75%. Використання обох методів послідовно забезпечує ефективний результат видалення потрібних забрудників. Комбінація анаеробної і аеробної стадії призводить до вищих капітальних витрат, але до нижчих експлуатаційних витрат і витрат на утилізацію відходів. Рациональність застосування вибраної технології двоступеневого анаеробно-аеробного біологічного очищення вимагає відповідних встановлених параметрів та умов процесу на об'єкті.

3.2 Вибір технології

3.2.1 Загальні відомості про реактори

Оскільки стічні води з переробки паперу містять в собі багато органічних речовин, що важко і легко окиснюються, необхідна така технологія, яка б вилучала всі ці сполуки одночасно та ефективно.

Сильно забруднені промислові стічні води переважно піддаються очищенню в анаеробному реакторі через високий рівень ХСК, потенціал для виробництва енергії та утворення малого приросту анаеробного мулу. Однак у

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Обґрунтування та вибір технології анаеробно-аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробила		Коваленко Г.Є.					52	126
Перевір.		Саблій Л.А.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, БЕ-81		
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.						

практичному застосуванні анаеробна обробка страждає від низької швидкості росту мікроорганізмів, низької швидкості осідання, нестабільності процесу та необхідності додаткової обробки стічних вод. У більшості застосувань, незважаючи на високу ефективність анаеробного процесу, повна деструкція органічної речовини неможлива через межу розпаду органічних речовин. Тоді потрібне подальше доочищення з використанням аеробної системи, щоб задовольнити вимоги скиду у річку. Отже, вибираємо двоступеневу анаеробно-аеробну систему, яка складається зі швидкісного анаеробного біореактора та аеротенка.

Для вибору анаеробної стадії розглядаємо 2 типи реакторів: UASB (upflow anaerobic sludge blanket – анаеробний реактор з придонним шаром організмів і висхідним потоком рідини) та SGBR (static granular bed – анаеробний реактор зі статичним гранульованим шаром мулу). UASB-реактори є компактними та економічними установками з низькими експлуатаційними витратами та низьким надлишковим утворенням мулу. Однак помилкова концепція розробки та порушення правил експлуатації системи UASB призводять до очищення стічних вод низької якості з точки зору ефективності видалення органічних речовин, нітрогену, фосфору та патогенних мікроорганізмів, за винятком яєць гельмінтів, які ефективно затримуються в зваженому шарі мулу [38].

Найперше дослідження UASB було опубліковано в 1979 році, де поєднали в один реактор реакційну камеру і відстійник [39]. Типовий UASB розроблений із подачею перистальтичним насосом стічних вод знизу реактора, які подаються вгору та контактують з придонним шаром мулу (муловий шар), потім продовжують рухатися вгору, водночас залишки забрудників у воді знову взаємодіють з мікроорганізмами, які розподілені по реактору більш вільно (мулова «ковдра»), як порівняти з шаром мулу внизу. Об'єм мулового шару повинен бути достатнім для подальшого очищення стічних вод, що проходять через придонний шар мулу, оскільки це допомагає забезпечити якісну обробку. UASB обладнаний сепаратором, розташованим у верхній частині реактора, для розділення гранульованого мулу, біогазу та очищеної рідини після обробки,

після чого рідина та газ відводяться з реактора UASB. Трифазний сепаратор дозволяє контактувати мікробам з речовинами у стічній воді, а також утримувати мікроорганізми в реакторі; полегшує повернення мулу без допомоги будь-якої зовнішньої енергії та контрольного пристрою; забезпечує належне повернення гранульованого мулу назад у реактор; забезпечує достатню кількість поверхонь розподілу газ-рідина всередині газового купола, достатню площу відстоювання зовні купола для контролю швидкості руху води для запобігання збільшення об'єму поверхні (щоб не переливалось). Для правильної роботи сепаратора необхідно приділити належну увагу геометрії апарату та його гідродинаміці. Схема реактора представлена на рисунку 3.1 [40].

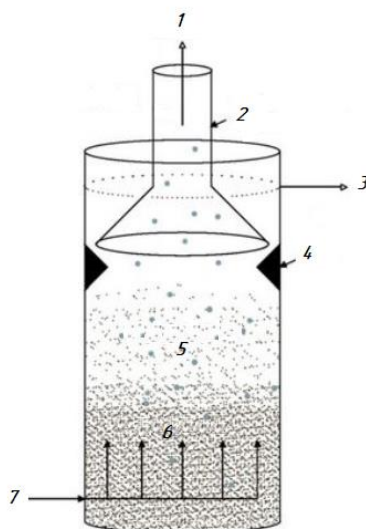


Рисунок. 3.1 Схема UASB-реактора [40]:

1 – вихід біогазу; 2 – трифазний сепаратор; 3 – вихід стічних вод після анаеробної обробки; 4 – перегородки; 5 – мулова «ковдра»; 6 – щільний муловий шар; 7 – вхід стічних вод

Після очищення стічні води збираються системою збору через декілька жолобів, розподілених по всій зоні скидання, до головного жолоба, розташованого на периферії реактора. А утворені біогази збираються як цінне паливо або для утилізації. У реакторах UASB механічне перемішування не

застосовується, водночас змішування мулу та стічних вод відбувається завдяки турбулентності біогазу [17].

Задля зменшення проєктної площі реактора, сепаратора, розмірів розподільної системи потоку тощо, реактор має бути якомога більшої висоти. А висота шару мулу повинна бути достатньою (щонайменше 1,5-2,5 метри), щоб забезпечити швидкість висхідного потоку рідини в максимально допустимих межах (1,2–1,5 м/год). Так, висота реактора має бути обмежена 4 метрами, щоб забезпечити зручне розміщення придонного шару мулу, завислого шару мулу та трифазного сепаратора. Згідно зі стандартом, максимальна висота реактора становить близько 8 метрів, але на практиці висота приймається від 4,5 до 6 метрів. Крім того, придонний шар займає від 30 до 60% загального об'єму реактора, від 20 до 30% загального об'єму передбачено для завислого мулового шару, а сепаратор займає решту – від 15 до 30% загального об'єму [41].

UASB традиційно використовують для очищення різноманітних промислових стічних вод з великими концентраціями органічних речовин-забруднювачів, у тому числі харчової, целюлозно-паперової, фармацевтичної промисловості тощо. UASB на даний час є найпопулярнішою анаеробною системою з гранульованим мулом через високу ефективність видалення органічних забруднень, просту конструкцію, низькі капітальні і експлуатаційні витрати і невеликі вимоги до площі [42].

Однією з форм високошвидкісного анаеробного очищення стічних вод є система реактора зі статичним гранульованим шаром мулу (SGBR), розроблена в Університеті штату Айова [43]. Пілотний анаеробний реактор (SGBR), виготовлений з нержавіючої сталі об'ємом на 2200 галонів з робочим об'ємом 1500 галонів. До того ж сама система включала резервуар для вхідних стічних вод, резервуар для вихідних стічних вод, резервуар для зливу води від процесу зворотного промивання, резервуар для каустичної соди, ПВХ труби, кілька клапанів для відбору проб і контролю роботи, гвинтові насоси для підведення стічних вод та зворотного промивання, лічильник газу (Рис. 3.2). Дренажну трубу було розміщено в середині гравійного шару на дні реактора для

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

забезпечення відведення очищених стічних вод і зворотного промивання SGBR. Стічні води скидаються самопливом. Над робочим рівнем води в реакторі була встановлена труба напівкруглої форми (залів), що дозволяє відокремлювати та відводити промивну воду із шару гранул.

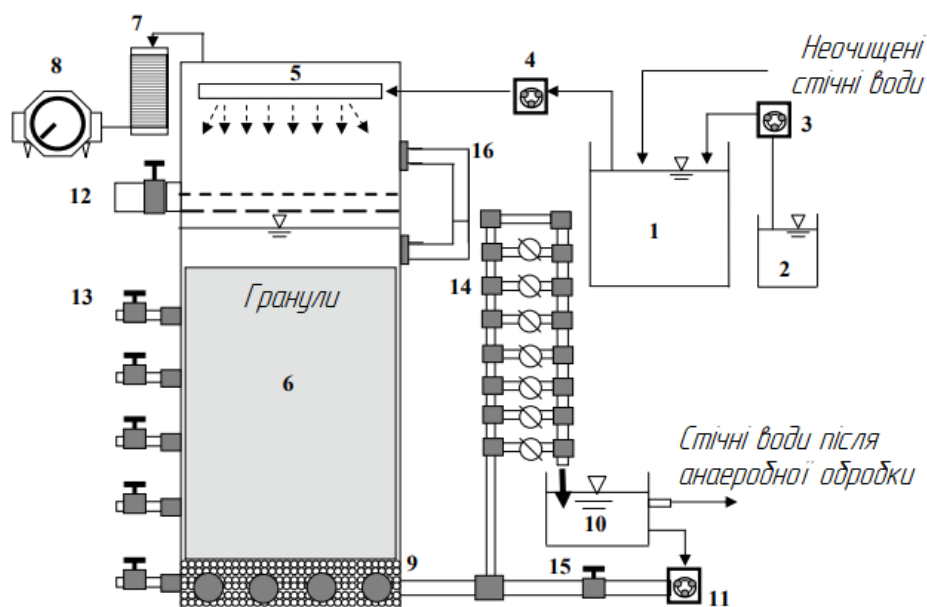


Рисунок 3.2. Схема пілотної установки SGBR [44]:

1 – резервуар для неочищених стічних вод; 2 – резервуар для каустичної соди; 3 – хімічний ін'єкційний насос; 4 – розподільний насос; 5 – розподільник стічних вод; 6 – SGBR-реактор; 7 – H_2S -скруббер; 8 – лічильник газу; 9 – гравійна дренажна система; 10 – резервуар для зберігання очищених стічних вод після анаеробної обробки; 11 – насос для зворотного промивання; 12 – система зливу промивної води після зворотного промивання; 13 – порт для відбору проб; 14 – стічна переливна труба; 15 – система дренажного та зворотного клапанів; 16 – труби оглядового скла

Газ, утворений в SGBR, збирався через газовий канал у верхній частині та випускався за допомогою 1-дюймових ПВХ труб. Об'єм утвореного біогазу під час роботи системи вимірювали за допомогою газового лічильника після проходження газу через скруббер для видалення сірководню. За допомогою манометра стежили за зміною тиску, а рівень води в реакторі спостерігали за

допомогою скляних труб, розташованих відповідно на 11-13 футів від днища. Реактор було заповнено приблизно 900 галонами анаеробних гранул. Система SGBR працювала безперервно протягом 48 годин за органічного навантаження – 1 кг/(м³·добу). Тривалість перебування стічних вод і рівень органічного навантаження змінювали після запуску [44].

SGBR має низькі експлуатаційні витрати через відсутність перемішування, що відрізняє цей реактор від інших анаеробних реакторів [45]. У верхній частині реактора залишається деякий простір для збору газу, і газ, що утворюється в системі, рухається вгору і видаляється з верхньої частини реактора. Труднощі, які виникають у деяких інших реакторах під час розділення газу та стічних вод, долаються за рахунок протилежних напрямків газу та потоків стічних вод. Таким чином, гранули не вимиваються з реактора [42]. Зазначається, що SGBR працює як анаеробний біофільтр і має стабільну статичну гранульовану біомасу. Цей реактор характеризується високою ефективністю видалення, простотою експлуатації та меншим об'ємом реактора [45].

3.2.2 Порівняльна характеристика роботи анаеробних реакторів

Для дослідження анаеробного очищення стічних вод целюлозно-паперового заводу, були побудовані UASB і SGBR пілотні реактори в лабораторії інженерної екології в Університеті штату Айова. В основі реакторів використовували гранули гравію для дисперсії потоку в UASB і утримання анаеробних гранул в SGBR. Анаеробні гранули отримували з UASB-реактора паперового заводу в штаті Айова. Системи розміщували в приміщеннях з постійною температурою, яка підтримувалася на рівні 35°C. Газ, який генерувався реактором, пропускався через H₂S-скруббер перед газовим лічильником із мокрим наконечником. Стічні води були надані компанією Grand Rapids Wastewater Treatment Facility в Міннесоті, США. Пробу води зберігали в холодильнику за 4°C до закачування в реактор перистальтичним насосом. Кожен перистальтичний насос підключений до таймера, який дозволяв коригування тривалості анаеробного процесу. Для початкової операції запуску тривалість

підтримували на показнику 24 години. Після досягнення стаціонарного режиму поступово знижували до 9; 6, і зрештою до 4 год.

Дослідження складалося з чотирьох етапів, де кожен етап представляв собою різні умови навантаження, а дослідження було завершено після 110 днів (4 місяці). Реактори порівнювали за тривалості: 24; 9; 6 і 4 години для стічних вод паперової фабрики. Середні характеристики води на вході та виході з SGBR- та UASB-реакторів під час дослідження наведено в табл. 3.1 та табл. 3.2 [43].

Таблиця 3.1 Середні характеристики стічної води на вході та виході з SGBR [43]

Параметр	Вихідні показники	Тривалість, години			
		24	9	6	4
Тривалість дослідження, діб		1-29	30-62	63-96	97-113
Завислі речовини, мг/дм ³	1063±537	375±116	359±89	516±18	113±93
Відсоток видалення ЗР, %		75±13	22±10	47±14	88±6
ХСК, мг/дм ³	1134±676	181±87	191±74	259±126	192±74
Жирні кислоти, мг/дм ³ (НАс)	397±348	21±9	72±3	33±7	85±32
pH	7,14	7,43±0,2	7,3±0,4	7,1±0,5	7,2±0,4

Таблиця 3.2. Середні характеристики стічної води на вході та виході UASB-реактора [43]

Параметр	Вихідні показники	Тривалість, години			
		24	9	6	4
Проведення дослідження, діб		1-29	30-62	63-96	97-113

Продовження таблиці 3.2

Завислі речовини, мг/дм ³	1063±537	800±163	200±40	309±75	79±21
Відсоток видалення ЗР, %		50±20	56±8	71±9	92±4
ХСК, мг/дм ³	1134±676	209±82	172±62	295±135	294±118
Жирні кислоти, мг/дм ³ (НАС)	397±348	46±44	60±19	128±59	114±14
рН	7,14	7,4±0,6	7,25±0,8	7,2±0,6	7,18±0,3

Результати в таблицях 3.1 і 3.2 вказують на те, що ефективність видалення ХСК покращується зі збільшенням тривалості. Ефективність видалення ХСК у SGBR була вищою, ніж у реакторі UASB за тривалості 24, 6 і 4 годин. Проте за тривалості нижче 24 годин у реакторі SGBR різниця вилучення ХСК є незначною, як порівняти за тривалостей 9 і 4 годин. Система SGBR показала 92% видалення ХСК за 24 години, а за 4 години ефективність досягала в середньому 73%, але і могла доходити до 80%. Видалення ХСК з реактора UASB було понад 81% через 9 годин і трохи більше 60% через 4–6 годин [43].

Тривалість перебування води в реакторі відіграє важливу роль у технології очищення, оскільки від цього технологічного параметра залежить розмір реактора. Належна тривалість забезпечує достатній час для мікроорганізмів розкласти органічні речовини. Час введення в робочий режим споруди є довгим для запобігання винесення мулу через високу швидкість потоку. На початку експлуатації реактор є скоріше фізичною системою для осідання завислих частинок через недостатню кількість мікробів для ефективної біодеградації. Навіть із початковим введенням мулу, низька продуктивність є звичайним явищем через нестабільність системи. З розвитком біологічної діяльності в реакторі, тривалість потім знижується шляхом підвищення органічного навантаження до досягнення стійкого стану. Різні дослідники використовують

тривалості відповідно до своїх цілей. Однак дуже довга тривалість заважатиме ефективній роботі реактора через голодування мікробної популяції і призведе до нездорової конкуренції за субстрат, водночас дуже короткий час перебування стічних вод зменшить час контакту між активною біомасою та субстратом. Крім того, збільшуючи тривалість, збільшується і вартість експлуатації [46].

Тому перевага надається реактору SGBR з тривалістю перебування стічних вод 4 години. До того ж ефективність видалення ХСК SGBR дорівнює або перевершує результати інших реакторів UASB за різних рівнів органічного навантаження, що вказує що SGBR можна було б застосовувати для очищення стічних вод картонно-паперової фабрики [43].

У 2005 році [47] проводили порівняння ефективності очищення стічних вод харчової промисловості за допомогою реакторів UASB і SGBR. Два реактори працювали за трьох різних тривалостей: 8, 16 і 24 год. Загалом видалення ХСК було вищим для SGBR, ніж для реактора UASB. Зокрема, за тривалості 8 годин SGBR було досягнуто 90,7% видалення ХСК, а реактор UASB знизив концентрацію ХСК на 77,5%. Науковці зазначають, що стічні води до стадії очищення в анаеробних реакторах піддавалися кислотному гідролізу протягом 16-24 годин для зменшення концентрації завислих речовин та усунення проблеми флотації гранул.

Варто звернути увагу на кількість завислих речовин на вході та виході з анаеробної стадії. Загалом допустима концентрація завислих речовин на вході в анаеробний реактор, зокрема і в UASB та SGBR, має складати не більше 500 мг/дм³ [17, 46], оскільки їх велика кількість заважає успішному розвитку гранульованого мулу та нормальному захопленню біомасою органічних речовин [39]. В показник завислих речовин у стічних водах, що направляються на аеробну обробку, входить якась кількість завислих речовин, що адсорбована на гранульованому мулі, і сам гранульований мул, винесений з анаеробного реактора. За показниками завислих речовин на виході у дослідженні університету штату Айова [8] вказано, що за меншої тривалості анаеробна біомаса виноситься менше, що добре, оскільки в аеротенку вона загине або

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

продовжуватиме анаеробні процеси, чим пригнічуватимуть аеробний активний мул.

За умов вибору реактора SGBR повинно бути враховано, що концентрація завислих речовин, в показник якого входить винесений гранульований мул, може досягати 200 мг/дм^3 за 4 години перебування стічних вод [8]. Це висока концентрація для аеротенків. Норма завислих речовин для аеробного очищення становить 150 мг/дм^3 . UASB-реактор має показник винесення завислих речовин за тривалості 9 годин (за цей час найвищий показник видалення ХСК) – 200 мг/дм^3 . За тривалості 4 години – до 100 мг/дм^3 . Такі великі коливання в завислих речовинах на виході з реактора UASB вказують на те, що з тривалістю збільшується винесення гранульованого мулу, що не можна сказати точно про реактор SGBR. Дійсно, за рахунок того, що UASB-реактор має висхідний потік стічних вод та більший вихід біогазу, винесення гранульованого мулу трапляється частіше, хоча і влаштований трифазний сепаратор [47]. Проте дослідження 2010 року [47] демонструють, що показник завислих речовин на виході для SGBR за тривалостей 16 і 24 годин був нижчим, ніж для UASB, а за тривалості 8 годин був майже однаковим.

Слід згадати, що найбільша проблема стічних вод картонно-паперової фабрики це важкоокиснювані органічні речовини, що можуть розкластися на легкоокиснювані мономери, тому вилучення органічних речовин за показником ХСК є першочерговим, не зважаючи на те, що показник завислих речовин на виході з реактора UASB за 4 години більш-менш прийнятний. Тим не менш, проблема з завислими речовинами і винесенням гранульованого мулу залишається, тому потрібно ввести перед анаеробним реактором етап зниження завислих речовин та етап відстоювання перед подальшою аеробною обробкою.

Іншою проблемою для анаеробних систем є вміст сульфатів у стічних водах. Сульфат відновлюється до сірководню сульфатвідновлювальними бактеріями (СВБ). Окрім проблем із запахом, сірководень є токсичним для метаногенів і може перешкоджати виробленню метану. СВБ також конкурують з метаногенами за субстрат, зокрема ацетат. Метаногени та СВБ можуть

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

співіснувати, але за високих концентрацій сульфату та після року експлуатації біореактора СВБ можуть виграти конкуренцію у метаногенів за субстрат, знищивши популяцію останніх. В системі SGBR з високим вмістом сульфатів, вважається, що шкідливого впливу не буде, оскільки сірководень (H_2S) утворюватиметься у верхній частині реактора. Гіпотеза полягає в тому, що H_2S буде у найвищій концентрації у верхній частині реактора, не впливаючи на більшість гранул [48], водночас це може стати проблемою для UASB-реактора [46].

Однією з головних привабливостей процесу UASB є можливість рекуперації енергії у вигляді біогазу. Виробництво біогазу сигналізує про завершення анаеробного зброджування в реакторах. Цю фінальну стадію анаеробного зброджування здійснюють ацетокластичні та гідрогенотрофні метаногени. Приблизно 70% метану в біогазі отримують з ацетату ацетокластичними метаногенами родів *Methanosarcina* і *Methanosaeta*. На кожен кілограм ХСК, що зброджується за $35^{\circ}C$, утворюється $0,39\text{ м}^3$ метану, що становить 13,5 МДж енергії. Більшу кількість біогазу зазвичай отримують за термофільної температури ($45^{\circ}C$), ніж за мезофільної ($30^{\circ}C$). Це свідчить про те, що виробництво біогазу є процесом, що залежить від температури. Склад і кількість виробленого біогазу також залежить від інших робочих умов, як-от органічне навантаження, рН, тип стічних вод, ступінь інгібування та гранулювання. Вихід біогазу $0,15\text{ м}^3/\text{кг}$ видаленого ХСК було зареєстровано за умов органічного навантаження $1\text{ кг ХСК}/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$, і $0,4\text{ м}^3/\text{кг}$ ХСК видаляється за навантаження $2,1\text{ кг ХСК}/(\text{м}^3\cdot\text{добу})$ в реакторі UASB, що очищує стічні води паперової фабрики. Вироблений біогаз складається з 69% CH_4 , 27% CO_2 і 1–1,5% H_2S . На виробництво біогазу також впливає присутність різних інгібіторів, зокрема важких металів (Cu, Cr, Ni, Cd, Zn і Pb), і виявлено, що купрум є найбільш токсичним для метаногенів. Концентрація ціаніду $5\text{ мг}/\text{дм}^3$ може викликати різке гальмування метаногенезу. Інші речовини, як трихлоретан і сульфід теж викликають сильне пригнічення метаногенезу [46].

Науковці з Пакистану [49] провели дослідження в лабораторних умовах з використанням розчину з характеристиками стічних вод целюлозно-паперового заводу. Використані два реактори UASB були виготовлені з акрилової смоли, кожен з ефективним об'ємом 6,0 дм³. Для підтримки постійної мезофільної температури навколо корпусу реакторів були передбачені водяні сорочки. Перемішувальний пристрій (форма турбіни, 3,81 см × 7,62 см) і система газовідділення також були передбачені в обох реакторах. Реактор UASB I був заповнений гранульованим активованим вугіллям (ефективний розмір 1,5–2,5 мм) на загальну глибину 12,7 см.

В результаті було помічено, що два технологічні параметри, тобто органічне навантаження і тривалість процесу, відіграють важливу роль у виході біогазу. Спостерігали значне зниження кількості виходу біогазу для обох реакторів в останні тижні періоду дослідження, коли тривалість була відносно малою (менше 12 годин). Причина полягає в тому, що менша тривалість сприяє вимиванню мулу з реактора, і, отже, вихід біогазу зменшується. За оптимальних умов спостерігали, що середня кількість біогазу, виробленого в реакторах I та II, становила 0,33 м³/кг і 0,41 м³/кг вилученого ХСК відповідно. Середній вміст метану дещо відрізнявся для обох реакторів I і II, тобто 61% і 58% відповідно. Також було помічено, що реактор R-I продемонстрував зменшену кількість отриманого біогазу, що могло бути пов'язано з низьким рівнем змішування речовин стічних вод та біомаси через присутність активованого вугілля в системі, що робило частинки мулу більш щільними. Загальний вихід газу в обох реакторах залишалося близьким до теоретичного значення 0,35 м³/кг вилученого ХСК, що вказувало на ефективність і узгодженість систем [49].

Співвідношення летких жирних кислот та лужності (VFA/Alk) відстежують як індикатор стабільності анаеробної системи. У роботі турецького науковця [13], де порівнювалися UASB- та SGBR-реактори, зазначається, що значення VFA/Alk коливалося між 0,02 і 0,5, що вказує на те, що жирні кислоти не накопичувалися ні в одному з реакторів. Якщо це співвідношення вище 0,5, анаеробна система пригнічується підкисленням, і знижується вихід метану.

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

Значення цього коефіцієнта у SGBR-реакторі становило у середньому 0,22. Проте VFA/Alk у UASB був вище 0,4 за тривалості 4 години, що впливає на зниження видалення ХСК через нестабільність системи. Кумулятивні значення виробництва метану реакторами проводили за допомогою щоденних розрахунків вимірювання вмісту метану в біогазі. Вихід газу за 110 днів проведення експерименту в реакторі UASB перевищив вихід SGBR, 180 л і 163 л відповідно. Більшу частину дослідження кумулятивний вихід метану перевищив теоретичний вихід, що вказує на те, що цьому посприяла наявність анаеробних гранул. До кінця дослідження теоретичні та фактичні значення були більш однаковими [43]. В іншій статті, присвяченій реактору SGBR [42], показано, що вихід метану був приблизно 0,25 м³/кг вилученого ХСК. Причиною нижчого вироблення метану в цьому дослідженні може бути низька температура (22°C). Співвідношення летких жирних кислот та лужності для реактора було нижче 0,3, що відображає чудову продуктивність.

3.2.3 Висновок

У підсумку для анаеробної стадії двоступеневого анаеробно-аеробного біологічного очищення в магістерській роботі вибрано реактор SGBR через його можливість видалення високих концентрацій важкоокиснюваних забруднень за малих тривалостей, простоту конструкції та експлуатації. Проте, стічні води картонно-паперової фабрики є бідними на нітроген та фосфор, тому перед анаеробним реактором необхідно встановити камеру змішування, куди додаватимуться біогенні елементи у формі (NH₄)SO₄ і KH₂PO₄ відповідно до співвідношення C:N:P = 300:1:0,1. Вирішенням проблеми з винесенням анаеробного гранульованого мулу є влаштування вторинного відстійника після анаеробної стадії, а висока концентрація завислих речовин на вході вимагає додавання етапу їх зниження одним з чотирьох варіантів: коагуляція з подальшим відстоюванням, коагуляція з подальшою флотацією, відстоювання з подальшою коагуляцією і флотацією, відстоюванням. В будь-якому випадку необхідні додаткові 1-2 споруди, що буде вибрано після розділу розрахунків. Аеробна стадія включає аеротенк з носіями для іммобілізації «ВІЯ». Носій,

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

представлений капроною текстурованою ниткою, був запропонований професором Гвоздяком П.І. [50].

Четвертий розділ дозволить визначитися з оптимальними технологічними і конструктивними параметрами вибраних споруд.

3.3 Обґрунтування та вибір технології очищення стічних вод картонно-паперової фабрики від завислих речовин

Висока концентрація завислих речовин на вході вимагає додавання етапу їх зниження одним з чотирьох варіантів: коагуляція з подальшим відстоюванням, коагуляція з подальшою флотацією, відстоювання з подальшою коагуляцією і флотацією, відстоюванням. Для вибору методу очищення стічних вод з метою зниження завислих речовин, необхідно визначити кінцеву концентрацію завислих речовин $C_{\text{кін}}^{\text{ЗР}}$ за формулою для розрахунку ефекту видалення забруднень зі стічних вод:

$$E = \frac{C_{\text{поч}} - C_{\text{кін}}}{C_{\text{поч}}} \cdot 100, \%$$

$$C_{\text{кін}}^{\text{ЗР}} = C_{\text{поч}}^{\text{ЗР}} - \frac{C_{\text{поч}}^{\text{ЗР}} \cdot E}{100}, \text{мг/дм}^3$$

де $C_{\text{поч}}^{\text{ЗР}}$ – початкова концентрація завислих речовин на вході в споруду; $E^{\text{ЗР}}$ – ефект видалення завислих речовин.

1 варіант: коагуляція з подальшим відстоюванням

Ефект видалення завислих речовин $E^{\text{ЗР}}$ методом коагуляції з подальшим відстоюванням приймається 70%. Початкова концентрація завислих речовин $C_{\text{поч}}^{\text{ЗР}}$ приймається 1500 мг/дм³, тоді $C_{\text{кін}}^{\text{ЗР}}$ становить:

$$C_{\text{кін}}^{\text{ЗР}} = 1500 - \frac{1500 \cdot 70}{100} = 450 \text{ мг/дм}^3$$

2 варіант: коагуляція з подальшою флотацією

Ефект видалення завислих речовин $E^{\text{ЗР}}$ методом коагуляції та флотації – 92-95%. Ефективність методу приймається 93%, початкова концентрація завислих речовин $C_{\text{поч}}^{\text{ЗР}}$ приймається 1500 мг/дм³, тоді $C_{\text{кін}}^{\text{ЗР}}$ становить:

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$C_{\text{кін}}^{\text{ЗР}} = 1500 - \frac{1500 \cdot 93}{100} = 105 \text{ мг/дм}^3$$

3 варіант: відстоювання, коагуляція та флотація

Ефект видалення завислих речовин $E^{\text{ЗР}}$ методом відстоювання – 50%,
Ефект видалення завислих речовин $E^{\text{ЗР}}$ методом коагуляції та флотації – 92-95%.
Початкова концентрація завислих речовин $C_{\text{поч}}^{\text{ЗР}}$ приймається 1500 мг/дм³, тоді $C^{\text{ЗР}}$ після відстоювання становить:

$$C^{\text{ЗР}} = 1500 - \frac{1500 \cdot 50}{100} = 750 \text{ мг/дм}^3$$

Після коагуляції та флотації концентрація завислих речовин становить:

$$C_{\text{кін}}^{\text{ЗР}} = 750 - \frac{750 \cdot 93}{100} = 52,5 \text{ мг/дм}^3$$

4 варіант: відстоювання

Ефект видалення завислих речовин $E^{\text{ЗР}}$ методом відстоювання – 50%.
Початкова концентрація завислих речовин $C_{\text{поч}}^{\text{ЗР}}$ приймається 1500 мг/дм³, тоді $C_{\text{кін}}^{\text{ЗР}}$ становить:

$$C^{\text{ЗР}} = 1500 - \frac{1500 \cdot 50}{100} = 750 \text{ мг/дм}^3$$

Отже, приймається другий варіант з коагуляцією з подальшою флотацією, оскільки додавання цієї стадії в технології значно знижує кількість завислих речовин до 105 мг/дм³. Третій варіант також демонструє хороший показник, але він включає додаткову споруду – відстійник, що економічно не вигідно, з огляду, що цей варіант зниження завислих речовин за показником на виході не сильно відрізняється від другого варіанту.

Обравши варіант зниження завислих речовин методом коагуляції з подальшою флотацією, розраховується концентрація ХСК на виході з флотатора. Ефект видалення ХСК $E^{\text{ХСК}}$ приймається 35%, значення концентрації ХСК на виході приймається 3200 мг/дм³:

$$C_{\text{кін}}^{\text{ХСК}} = 3200 - \frac{3200 \cdot 35}{100} = 2080 \text{ мг/дм}^3$$

3.4 Опис біологічних агентів

3.4.1 Анаеробний гранульований мул

Для очищення стічних вод останні три десятиліття використовують анаеробне гранулювання. Основи гранулювання на сьогодні не повністю зрозумілі, незважаючи на кількість очисних установок, що зараз існують, на базі гранулювання. Анаеробна грануляція здебільшого складається з мікробної агрегації, де спільноти організовані в щільні та високонструктуровані агрегати, які не вимагають будь-яких носіїв [51]. Повне очищення промислових стічних вод передбачає комплекс взаємодії між синтрофними видами, заселеними в матриці гранул, оскільки жоден з окремих видів біомаси не здатен повністю розкладати забрудники [52]. У дослідженнях гранул на їх поверхні зазвичай спостерігаються порожнини та отвори. Порожнини можуть бути каналами для транспортування газів, субстратів або метаболітів. Трансмісійною електронною мікроскопією виявлено мікроколонії синтрофних бактерій, що часто спостерігаються у внутрішній структурі гранул. Ацидогенні і гідролітичні бактерії зазвичай прикріплені у зовнішньому шарі гранули, водночас у внутрішній частині переважають метаногени [53]. Густина гранульованого мулу близька до густини води. Фіцпатрік та ін. (1989) [54] припустили, що є кілька можливих переваг для формування мікроорганізмів в гранули. Вони включають те, що за сприятливих умов утворюються гетерогенні впорядковані популяції мікроорганізмів у формі багатоклітинної асоціації; синтрофічні взаємодії між сусідніми організмами полегшують генетичний обмін; грануляція може захистити клітини від хижаків, як-от анаеробні інфузорії; відстань дифузії для проміжних продуктів розкладання мінімізована всередині гранул, що є дуже ефективним засобом збереження енергії, доступної в системі; за несприятливих умов для росту (наприклад, екстремальний рН) для підтримки метаболізму можна підтримувати більш сприятливе мікросередовище в агрегатах [55].

Гранули формуються під дією струменів повітря або рідини, які забезпечують їх псевдозріджений стан. Параметри гранульованого мулу: розмір гранул становить 2-2,5 мм, муловий індекс – 16-57 см³/г, концентрація за сухою

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

речовиною – 14-50 г/дм³, зольність – 18-24%. Гранульований мул має високі седиментаційні характеристики та легко віддає вологу [52]. Найпоширеніші роди метаногенів, що беруть участь у формуванні гранул, – це *Methanothrix*, *Methanosarcina*, *Methanosaeta*, *Methanospirillum*, *Methanobacterium* [56].

Для успішного гранулювання повинні бути враховані біологічні, фізичні, хімічні фактори, а також склад стічних вод. До біологічних факторів належить адаптація мікроорганізмів до стічних вод; велике розмаїття мікробів та початкове завантаження біомаси не більше, ніж 0,6 (кг ХСК/кг завислих речовин·добу). Хімічні чинники включають наявність двовалентних катіонів у сполуках; рН, близький до нейтрального; наявність речовин, що виконують роль буферу (каустична сода, натрій бікарбонат); присутність нутрієнтів N, P, S та мікроелементів Fe, Ni, Co. Температуру відносять до фізичних факторів. Вона впливає на швидкість біохімічних процесів, а також розмір та форму гранул. Ще одним чинником, що впливає на грануляцію, є склад стічних вод. Наприклад, наявність завислих речовин може сповільнювати утворення анаеробних агрегатів, тому стічні води мають піддаватися попередній обробці. Також інгібують розвиток гранульованого мулу токсичні речовини, вирішенням цієї проблеми є адаптація мікроорганізмів до них [39].

Поки що будь-яка модель утворення гранул, представлена раніше, не в змозі зобразити весь процес анаеробної грануляції. На основі наявних механізмів утворення анаеробних гранул, запропонована загальна чотирьохетапна модель для анаеробної грануляції.

Етап 1: Фізичний рух для ініціювання контакту між бактеріями або приєднання бактерій до ядер. Сили, залучені до цього етапу: гідродинамічна сила; сила дифузії; сила тяжіння; термодинамічні сили (броунівський рух); мобільність клітини: клітини можуть рухатися за допомогою джгутиків, вій та ложноніжок, водночас рух клітин також може керуватися сигнальним механізмом.

Етап 2: Початкові сили приєднання для підтримки стабільних багатоклітинних контактів. Ці сили:

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

- Фізичні сили: сили Ван-дер-Ваальса; притягання протилежного заряду; термодинамічні сили, включаючи вільну енергію поверхні та поверхневий натяг; гідрофобність; ниткоподібні бактерії, які можуть служити містком для зв'язування окремих клітин.

Слід підкреслити, що гідрофобність поверхонь бактерій відіграє вирішальну роль в утворенні біоплівки та анаеробних гранул. Згідно з теорією термодинаміки, збільшення гідрофобності клітинних поверхонь призведе до відповідного зменшення надлишкової енергії Гіббса поверхні, яка, у свою чергу, сприяє взаємодії між клітинами та служить рушійною силою для бактеріальної самоагрегації.

- Хімічні сили: водневий зв'язок; утворення іонних пар; утворення іонного триплету; міжчастинковий місток.

- Біохімічні сили: зневоднення клітинної поверхні; злиття клітинних мембран; передача сигналів та колективна дія в бактеріальному співтоваристві.

Як описується в теорії протонної транслокації-дегідратації, дегідратація клітинної поверхні та злиття мембрани можуть призвести до ініціації анаеробної грануляції, водночас кооперативна самоорганізація бактерій допоможе сформувати організовану просторову структуру.

Етап 3: Мікробні сили посилюють агрегацію клітин: виробництво позаклітинного полімеру бактеріями (екзополісахариди); збільшення клітинного кластера; метаболічні та генетичні зміни, що полегшують взаємодію між клітинами та призводять до високоорганізованої структури мікроорганізмів.

Етап 4: Стаціонарна тривимірна структура мікробного агрегату, сформований гідродинамічними силами зсуву.

Ця чотирьохетапна модель для анаеробної грануляції максимально охоплює поточне розуміння грануляції [57].

Зараз докладається багато зусиль для вивчення ширших застосувань анаеробного гранулювання та визначення суттєвих переваг для створення конкуренції фізико-хімічним або аеробним технологіям. Слід працювати над покращенням проектування та контролю процесу для визначення оптимальних

умов роботи, щоб зменшити інвестиції та експлуатаційні витрати, а також отримати максимальну користь від застосування. Переваги технології анаеробної грануляції включають можливість нарощування великої кількості біомаси, що сприяє зменшенню розмірів біореакторів та високій продуктивності біореакторів; економічну ефективність; компактну конструкцію біореактора; виробництво відновлюваної енергії біогазу та низький вихід мулу. Цікавою особливістю анаеробних гранул є те, що вони можуть зберігатися тривалий час без споживання субстрату. Це надає здатність біореакторам із гранульованим мулом очищати сезонні стічні води, а також залишати реактор без живлення під час свят або вихідних для технічного обслуговування. Гранули, що зберігаються, можна використовувати для запуску або поповнення біомаси в інших біореакторах [39]. Основною проблемою, пов'язаною із системами гранульованого мулу, є необхідність тривалого запуску для розвитку цих гранул у випадках, коли інокуляція проводиться флокулами мікроорганізмів, і зазвичай потрібно кілька місяців або більше, перш ніж мул перетвориться на гранули [55].

Ключем до практичного використання анаеробної грануляції є відокремлення твердої речовини (мікробні клітини) і час перебування рідини в біореакторі. Це непросте завдання досягти високих завантажень концентрацій речовин у стічній воді і підтримувати мікробні клітини. Існують різноманітні конструкції біореакторів, що розвивалися протягом останніх десятиліть під час дослідження різних способів утримання мікроорганізмів [39].

3.4.2 Імобілізований активний мул

Активний мул – це біоценоз аеротенку, що складається з гетеротрофних бактерій, автотрофних бактерій, грибів, найпростіших та мікроскопічних тварин (коловертки, черви). Активний мул представляє собою дрібні пластівці від світло-коричневого до темно-коричневого кольору розміром зазвичай 2-3 мм, який має велику площу поверхні, що зумовлює велику адсорбційну здатність, і вже за декілька хвилин контакту мулу зі стічними водами відбувається адсорбція розчинених органічних, колоїдних і грубодисперсних речовин з води. Активний

мул не має запаху і може бути проданий як чудове сільськогосподарське добриво.

Бактерії складають найбільшу частину активного мулу і налічують 10^9 - 10^{10} клітин на 1 г сухої речовини. І аероби, і факультативні анаероби, і облігатні анаероби спостерігаються в активному мулі. Останні можуть перебувати всередині пластівців. У зразках активного мулу були ідентифіковані такі типи бактерій: *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Acidobacteria*, *Chloroflexi*, *Saccharibacteria*, *Planctomycetes* і *Nitrospirae*. Головними функціями бактерій є первинна деструкція органічних речовин та трансформація неорганічних речовин.

З моменту встановлення в 1922 році перших очисних споруд з активним мулом багато авторів відзначали наявність вільноживучих найпростіших. Було підраховано, що біомаса найпростіших може досягати значень 250 мг/дм^3 (суха вага). Найпростіші є одним із найпоширеніших представників у аеротенку і відіграють важливу роль у процесах очищення стічних вод. Спочатку вважалося, що найпростіші шкідливі для процесу активного мулу. Однак потім виявили, що за відсутності найпростіших у стічних водах БСК₅ та інші параметри (наприклад, концентрація органічного карбону та завислих речовин) були вищими. Екскреція мінеральних речовин найпростішими призводить до прискореного використання джерела карбону бактеріями. Крім того, найпростіші виділяють сполуки, що стимулюють ріст та активність бактерій. Серед інших функцій найпростіших важливу роль відіграє поїдання бактерій, в тому числі і патогенних, таким чином відбувається контроль їх чисельності. Завдяки протистам освітлюється вода шляхом покращення процесу відокремлення частинок від води (сидиментатори).

З 228 видів найпростіших, що входять до складу активного мулу, близько 160 належать до типу *Ciliophora*, що характеризується наявністю вільного апарату на всіх стадіях розвитку: *Acineria uncinata*, *Vorticella convallaria*, *Vorticella microstoma*, *Opercularia coarctata* та *Aspidisca cicada*. За доброго роботи споруди з активним мулом у спільноті найпростіших домінують з класу *Peritricha* (кругловічасті інфузорії) (роди *Vorticella*, *Carchesium*, *Zoothamnium*, *Epistylis*) і отряду *Hypotrichida* (черевовійчасті інфузорії) (*Aspidisca*, *Euplotes*). У

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

деяких випадках можна спостерігати домінування родів *Chilodonella*, *Trochilia* підкласу *Hypostomatia* або роди підкласу раковинних корененіжок *Testacealobosia* – *Arcella* та *Euglypha* типу *Sarcomastigophora*.

Інфузорії присутні в процесах очищення стічних вод у вигляді великої кількості особин і видів. Бактероїдні інфузорії можна розділити на рівновійчасті (*Paramecium*, *Colpidium*), кругловічасті (*Carchesium*, *Vorticella*, *Zoothamnium*, *Epistylis*, *Rhabdostyla*, *Opercularia*) черевовійчасті (*Aspidisca*, *Stylonychia*, *Euplotes*), різновійчасті (*Stentor*), сисні (*Acineta*, *Tokophrya*, *Podophrya*). Дослідження динаміки та послідовності найпростіших в активному мулі показали, що джгутикові (*Bodo*, *Peranema* – типу *Sarcomastigophora* класу *Phylomastigophora*) переважають у системі на ранніх стадіях лише через їх меншу потребу в енергії та толерантність до високих концентрацій органічних забруднень. У міру зменшення джгутикових вони змінюються інфузоріями кругловічастими та черевовійчастими. Рівновійчасті розвиваються за низьких концентрацій кисню та поганої роботи аеротенка. Кругловічасті, різновійчасті, черевовійчасті ефективно очищують воду від дрібних домішок і мікроорганізмів. Велика кількість сисних інфузорій вказує на перевантаження мулу. Наявність раковинних корененіжок родів *Centropyxis* та *Arcella* свідчать про задовільну роботу аеротенка, а роду *Pamphagus* – про погану. Значна чисельність представників родів *Amoeba* та *Pelomyxa* підтипу *Sarcodina* (Саркодові) підкласу *Gymnamoebia* (Голі амеби) говорить про перевантаження мулу та нестачу кисню у аеротенку [58].

Активний мул містить різноманітні гриби близько 350 видів, як-от плісняві гриби, дріжджі, актиноміцети. Плісневі гриби беруть участь у розкладенні вуглеводів, органічних кислот, спиртів, деякі з них засвоюють органічні форми нітрогену. Дріжджі споживають вуглеводи та органічні кислоти. Актиноміцети та мікобактерії піддають деградації вуглеводи, жири, органічні кислоти, вуглеводні.

Водорості та багатоклітинні тварини також зустрічаються в аеротенку, проте, сильне перемішування киснем у споруді заважає нормальному

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		72

проживанню цим організмам. Наявність коловерток (підклас Bdelloidea) вказує на початок процесу нітрифікації. Вони є детритофагами та чутливими до зниження рівня кисню та різкої зміни складу стічних вод. Про погане перемішування та недостатню аерацію засвідчує присутність голих черв'їв (Nematoda). Малоцетинкові (Oligochaeta) свідчать про глибоке очищення. Наявність черв'їв призводить до мінералізації та укрупнення флокул активного мулу.

Імобілізація - це природне явище, що існує в світі. Зараз відомо, що приблизно 40–80% бактеріальних клітин на Землі можуть утворювати біоплівки. Біоплівки - це складні спільноти, що прикріплені до поверхні, мікроорганізмів, які утримуються разом саморобними полімерними матрицями, що здебільшого складаються з полісахаридів, секретованих білків і позаклітинних ДНК [59]. Біоплівка може складатися з одного мікробного виду або комбінації різних видів бактерій, найпростіших, архей, водоростей, нитчастих грибів і дріжджів, які міцно прикріплені один до одного та до біотичних або абіотичних поверхонь [60]. Здатність мікроорганізмів утворювати біоплівки є адаптивною ознакою мікробів. Утворення біоплівки є давнім механізмом виживання, що надає мікроорганізмам кращі можливості, а саме удосконалену здатність рости в оліготрофних середовищах, більший доступ до поживних ресурсів, покращену виживаність до біоцидів, підвищену продуктивність організму та більшу стабільність середовища [61-62]. Очевидно, що біоплівки забезпечують захист бактерій і роблять їх більш придатними для зовнішнього середовища за певних умов. Саме розвиток методів управління штучною, або індукованою, імобілізацією призвело нині до усвідомлення переваг застосування в біологічних реакторах імобілізованих клітин. В біореакторі мікроорганізми фіксуються на носії для підтримки високої щільності та біоактивної функції та виконують функцію розкладання сполук у воді за відповідних умов [63].

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

4.1 Розрахунок анаеробного реактора

Тривалість перебування стічних вод в анаеробному реакторі розраховується за формулою:

$$t_{\text{ан}} = \frac{XCK_{\text{поч}} - XCK_{\text{кін}}}{\rho_{\text{ан}}}, \text{ год}$$

де, $XCK_{\text{поч}} = 2080 \text{ мг/дм}^3$ – початкова концентрація ХСК перед анаеробним реактором; $XCK_{\text{кін}} = 300 \text{ мг/дм}^3$ – кінцева концентрація ХСК після анаеробним реактором; $\rho_{\text{ан}}$ – швидкість видалення органічних речовин за показником ХСК в анаеробному реакторі за 4 години за роботою турецьких і американських науковців (табл. 2.1) [8] становить $235,5 \text{ мг/(дм}^3 \cdot \text{год)}$.

$$t_{\text{ан}} = \frac{2080 - 300}{235,5} = 7,56 \text{ год}$$

Тривалість перебування стічних вод в анаеробному реакторі приймається 8 годин.

Розрахункова витрата суміші стічних вод $Q_{\text{год}} = 292 \text{ м}^3/\text{год}$, тривалість перебування стічних вод t становить 8 годин, тоді необхідний об'єм реактора:

$$V = Q_{\text{max}} \cdot t = 292 \cdot 8 = 2336 \text{ м}^3$$

Приймаються 2 робочі анаеробні реактори, об'єм кожного становить 1168 м^3 . Діаметр приймається 10 м, тоді висота робочого об'єму становитиме:

$$H = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 1168}{3,14 \cdot 100} = 14,9 \text{ м}$$

Приймається реактор заввишки 22 м, враховуючи зону збору очищених стічних вод та зону збору біогазу.

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунки очисних споруд біологічного очищення стічних вод	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробила		Коваленко Г.Є.						
Перевір.		Саблій Л.А.					74	126
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мп		
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.						

4.2 Розрахунок вторинних відстійників після анаеробного реактора

Розраховується об'єм трьох відстійників, приймаючи тривалість перебування стічних вод у вертикальному відстійнику 1,5 год:

$$V_{\phi} = Q_{\text{Год}} \cdot t = 292 \cdot 1,5 = 438 \text{ м}^3$$

Об'єм одного відстійника становить – 146 м³.

Приймається 3 вертикальні відстійники за типовим проектом ТП 902-2-168 з розмірами:

Висота циліндричної частини, $H_{\text{ц}}$ – 3 м;

Висота конічної частини, $H_{\text{к}}$ – 5,1 м;

Діаметр, d – 9 м.

Визначається об'єм зони осадження за формулою:

$$V_{\text{т}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H_{\text{к}}, \text{ м}^3$$
$$V_{\text{т}} = \frac{3,14 \cdot 9^2}{4} \cdot 3 = 190,8 \text{ м}^3$$

Визначається кількість вторинних відстійників за формулою:

$$n = \frac{V_{\phi} \cdot K}{V_{\text{т}}}, \text{ шт}$$

де K – коефіцієнт, який враховується у разі приймання мінімальної кількості (три) робочих вторинних відстійників приймається не менше трьох. За трьох відстійників розрахунковий об'єм збільшується в 1,2...1,3 рази.

$$n = \frac{438 \cdot 1,2}{190,8} = 2,75 \text{ шт}$$

В ході перевірки приймаються 3 вертикальні відстійники за типовим проектом ТП 902-2-168.

4.3 Розрахунок аеротенка

Для аеробної стадії вибраний аеротенк-витиснювач з носіями для іммобілізації «ВІЯ». Значення БСК_{повн} є 70% від ХСК. Значення БСК_{повн} стічних вод, які надходять в аеротенк, становить 210 мг/дм³. Згідно ДБН [64], за

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		75

концентрації $BCK_{\text{повн}} < 500$ мг/дм³ приймаємо аеротенк-витиснювач з регенерацією активного мулу ($BCK_{\text{повн}} > 150$ мг/дм³).

Попередньо приймаємо дозу активного мулу в зоні аерації в межах 2-4,5 г/дм³ та значення мулового індексу 80 см³/г. Для прийнятих значень визначається ступінь рециркуляції активного мулу:

$$R = \frac{a_a}{\frac{1000}{I} - a_a} = \frac{3}{\frac{1000}{80} - 3} = 0,3,$$

де a_a – доза мулу, що дорівнює 3 г/дм³; I – муловий індекс, який становить 80 см³/г.

Доза активного мулу в регенераторі визначається за формулою:

$$a_p = a_a \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot R} + 1 \right) = 3 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 0,3} + 1 \right) = 8,0 \text{ г/дм}^3$$

Концентрація органічних забруднень за $BCK_{\text{повн}}$ в суміші стічних вод та циркуляційного активного мулу визначається за формулою:

$$L_{\text{сум}} = \frac{C_{\text{сум.БСК}}^a + C_{\text{БСК}}^k \cdot R}{1 + R} = \frac{210 + 15 \cdot 0,3}{1 + 0,3} = 165 \text{ мг/дм}^3,$$

де $C_{\text{БСК}}^a = 210$ мг/дм³; $C_{\text{БСК}}^k = 15$ мг/дм³ – показник $BCK_{\text{повн}}$ в очищеній воді після повного біологічного очищення, мг/дм³.

Тривалість обробки стічних вод в аеротенку t_a приймається 14 годин, а тривалість регенерації активного мулу t_p – 12 годин за лабораторними дослідженнями ПП «Оства».

Питома швидкість окиснення забруднень активним мулом визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_{\text{max}} \cdot \frac{C_{\text{БСК}}^k \cdot C_0}{C_{\text{БСК}}^k \cdot C_0 + K_L \cdot C_0 + K_0 \cdot C_{\text{БСК}}^k} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_p} = \\ &= 433 \cdot \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 67 \cdot 2 + 1,5 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 2 \cdot 8} = 4,1 \text{ мг/(г} \cdot \text{год)}, \end{aligned}$$

де $\rho_{\text{max}} = 433$ мг/(г · год) – максимальна швидкість окиснення органічних забрудників, які містяться у стічних водах [64, табл. 40]; C_0 – концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, яка приймається $C_0 = 2$ мг/дм³;

$K_L = 67 \text{ мг(БСК}_{\text{повн}})/\text{дм}^3$ – константа, яка характеризує властивості органічних забруднень [64, табл. 40]; $\varphi = 2 \text{ дм}^3/\text{г}$ – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, складає [64, табл. 40]; $K_0 = 1,5 \text{ мг(O}_2)/\text{дм}^3$ – константа, яка характеризує вплив кисню [64, табл. 40].

Тривалість окиснення органічних забруднень визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{C_{\text{БСК}}^a - C_{\text{БСК}}^k}{a_p \cdot (1 - S) \cdot \rho \cdot R} \cdot \frac{15}{T_{\text{сер,р}}} = \frac{210 - 15}{8 \cdot (1 - 0,17) \cdot 4,1 \cdot 0,3} \cdot \frac{15}{22} = 16,28 \text{ год},$$

де S – зольність активного мулу, приймається 0,17; $T_{\text{сер,р}} = 22^\circ\text{C}$ – середньорічна температура стічних вод.

Середня тривалість перебування стічних вод в системі аеротенк-регенератор буде дорівнювати:

$$t_{\text{сер}} = (1 + R) \cdot t_a + t_p \cdot R = (1 + 0,3) \cdot 14 + 12 \cdot 0,3 = 21,8 \text{ год}$$

Середня доза активного мулу в системі аеротенк-регенератор визначається за формулою:

$$a_{\text{сер}} = \frac{a_a \cdot (1 + R) \cdot t_a + a_p \cdot R \cdot t_p}{t_{\text{сер}}} = \frac{3 \cdot (1 + 0,3) \cdot 14 + 8,0 \cdot 0,3 \cdot 12}{21,8} = 3,8 \text{ г/дм}^3$$

Навантаження на активний мул q_m приймається 177 мг/(г·доб), тоді муловий індекс $I = 107 \text{ см}^3/\text{г}$ за дослідженнями ПП «Оства».

Робочий об'єм аеротенка та регенератора визначається за формулами:

$$W_a = (1 + R) \cdot t_a \cdot Q_{\text{год}} = (1 + 0,3) \cdot 14 \cdot 292 = 5314 \text{ м}^3$$

$$W_p = t_p \cdot R \cdot Q_{\text{год}} = 12 \cdot 0,3 \cdot 292 = 1051 \text{ м}^3$$

де $Q_{\text{год}} = 292 \text{ м}^3$ – розрахункова витрата суміші стічних вод, м³/год.

Загальний об'єм становить:

$$W = W_a + W_p = 5314 + 1051 = 6365 \text{ м}^3$$

Об'єм однієї секції складає:

$$W_1 = \frac{W}{N} = \frac{6365}{2} = 3183 \text{ м}^3$$

Визначається відношення об'ємів «регенератор-загальний об'єм»:

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		77

$$\frac{W_p}{W} = \frac{1051}{6365} = 16,5\%$$

Приймаються 2 секції трьохкоридорного аеротенка з робочою глибиною $H = 4,4$ м, шириною коридору $B = 4,5$ м [Довідник проєктувальника під заг. ред. Самохіна В.Н., табл. 27.7, 65] за ТП 902-2-179. Довжина коридору за ТП складає 48-54 м. Половина коридору виділяється на регенератор, 2,5 коридори – на аеротенк.

Довжина коридору становить:

$$L = \frac{W}{B \cdot H \cdot N \cdot n_k} = \frac{6365}{4,5 \cdot 4,4 \cdot 2 \cdot 3} = 54 \text{ м,}$$

де $N = 2$ – кількість секцій аеротенка, шт.; $n_k = 3$ – кількість коридорів у секції, шт.

Приймаємо довжину коридору аеротенка 54 м. Тоді загальний об'єм становитиме:

$$W = B \cdot H \cdot N \cdot n_k \cdot L = 4,5 \cdot 4,4 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 54 = 6415 \text{ м}^3$$

Аеротенки обладнуються системою аерації. Приймається дрібнобульбашкова система аерації з використанням фільтросних пластин. Її розрахунок полягає у визначення питомої витрати повітря на аерацію $q_{\text{пов}}$. Оскільки мінімальна інтенсивність аерації мулової суміші I_a^{min} за прийнятої глибини аеротенка 4,4 м становить $3,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, то питома витрата повітря на аерацію $q_{\text{пов}}$ становить:

$$q_{\text{пов}} = \frac{I \cdot t_{\text{сер}}}{H} = \frac{3,3 \cdot 21,8}{4,4} = 16,35 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

де H – глибина аеротенка, м, $t_{\text{сер}}$ – середня тривалість перебування стічних вод в системі аеротенк-регенератор.

Приймається 1 ряд фільтросних пластин.

Площа аерованої зони фільтросних пластин:

$$S_{a.з} = d_{\text{пл.}} \cdot L = 0,3 \cdot 54 = 16,2 \text{ м}^2$$

де $d_{\text{пл.}} = 0,3$ м – ширина фільтросної пластини.

Площа аеротенка:

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		78

$$S_a = B \cdot L = 4,5 \cdot 54 = 243 \text{ м}^2$$

Співвідношення площі аерованої зони та аеротенка:

$$\frac{f_{a.з}}{f_a} = \frac{16,2}{243} = 0,07$$

За таблицею К.9, М.вк. [64, табл. 42] визначається максимальна інтенсивність аерації мулової суміші $I_a^{max} = 7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Загальна витрата повітря, яке подається в аеротенк, визначається за середньою витратою стічних вод за час аерації в години максимального припливу:

$$Q_{\text{пов}}^{\text{сер}} = q_{\text{пов}} \cdot Q_{\text{год}} = 16,35 \cdot 292 = 4774 \text{ м}^3/\text{год}$$

Повітродувки підбирають за каталогом, виходячи із загальних витрат напору та розрахункової витрати повітря. Кількість повітродувок приймають не менше 2 робочих. За наявності трьох робочих – 1 резервна, за більшої кількості – 2 резервні. Приймаємо 2 робочі і 1 резервну повітродувки марки ТВ-42-1,4 [табл. 28.1, 65]:

- Продуктивність – $3600 \text{ м}^3/\text{год}$;
- Кількість обертів – 2940 об/хв ;
- Тиск – $0,14 \text{ МПа}$;
- Маса – 3470 кг .

По довжині у $2,5$ коридорах аеротенка встановлюються касети з прикріпленими до них носіями із капронових волокон типу «ВІА» заввишки – $3,5 \text{ м}$, завширшки – $1,5 \text{ м}$, завдовжки – $2,5 \text{ м}$.

4.4 Розрахунок третинних відстійників

Розрахунок третинних відстійників здійснюється за гідравлічним навантаженням, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, на одиницю площі поверхні, яке визначається за формулою:

$$q = \frac{4,5 \cdot K_{\text{відст}} \cdot H_{\text{з.в.}}^{0,8}}{(0,1 \cdot I \cdot a_a)^{0,5-0,01 \cdot a_t}} = \frac{4,5 \cdot 0,35 \cdot 3^{0,8}}{(0,1 \cdot 80 \cdot 3)^{0,5-0,01 \cdot 15}} = \frac{3,79}{3,04} = 1,25 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$$

де $K_{\text{відст}}$ - коефіцієнт використання об'єму відстійників, що приймається для вертикальних відстійників - 0,35; $H_{\text{з.в}}$ - глибина зони відстоювання, м; I – значення мулового індексу, см³/г; a_a - концентрація активного мулу в аеротенку, г/дм³; a_t - концентрація активного мулу у воді після відстоювання (15 мг/дм³), мг/дм³.

Загальна площа поверхні вторинних відстійників визначається за формулою:

$$F_{\text{відст}} = \frac{Q_{\text{год}}}{q} = \frac{292}{1,25} = 234 \text{ м}^2$$

де $Q_{\text{год}}$ – максимальна витрата стічних вод, м³/год.

Кількість вторинних відстійників приймається не менше трьох, усі відстійники - робочі. За трьох відстійників розрахунковий об'єм збільшується в 1,2...1,3 рази.

$$D = \sqrt{\frac{F_{\text{відст}} \cdot 4}{\pi \cdot N}} = \sqrt{\frac{234 \cdot 4}{3,14 \cdot 4}} = 8,6 \text{ м}$$

$$N = \frac{F_{\text{відст}} \cdot 4 \cdot K}{\pi \cdot D^2} = \frac{234 \cdot 4 \cdot 1}{3,14 \cdot 8,6^2} = 4 \text{ шт}$$

Приймаються 4 третинні відстійники за ТП 902-2-168 з розмірами:

Висота циліндричної частини, $H_{\text{ц}}$ – 3 м;

Висота конічної частини, $H_{\text{к}}$ – 5,1 м;

Діаметр, d – 9 м.

РОЗДІЛ 5. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД КАРТОННО-ПАПЕРОВОЇ ФАБРИКИ

Опис технологічного процесу

ДР 1. Підготовка аераційного повітря

ДР 1.1. Забір повітря з атмосфери

Забір повітря здійснюється з верхніх шарів атмосфери за допомогою вентиляційної труби, отвір якої розташований на висоті 5 м. Вентилятор для забору повітря знаходиться внизу труби. Вологість повітря складає від 60-90%.

ДР 1.2. Попереднє очищення повітря

Попереднє очищення повітря здійснюється масляними фільтрами задля вилучення грубих частинок та захисту компресійної апаратури. Вони влаштовуються перед компресором на всмоктувальній лінії та дозволяють видалити частки розміром більше 5 мкм, краплі вологи та частково мікроорганізми. На цьому етапі можна досягнути 80% ефективності очищення. Масляні фільтри містять декілька фільтрувальних елементів у вигляді прямокутних комірок зі сталі, обтягнутих гофрованими сітками. Комірки наповнюються дрібними кільцями Рашига, металічною стружкою або насадкою, яка змочується мінеральним маслом. Повітря в насадці вивільняється від грубих частинок, завдяки інерційному осадженню. Запилені комірки для очищення щомісячно промивають в гарячому розчині соди або лугу, сушать і знову змочують маслом.

1.3. Компресування та транспортування повітря

Повітря, пройшовши попереднє очищення, стискають до тиску 0,16 МПа і направляють у систему повітропостачання за допомогою повітрорудки. Цей етап необхідний для забезпечення належної якості, об'єму подачі і відповідного до технологічних вимог тиску повітря. Стиснене повітря подається до ТП 6.3, ТП 8.3.

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Опис технологічної схеми біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики	Лім.	Арк.	Аркушів
Розробила		Коваленко Г.Е.					81	126
Перевір.		Садлій Л.А.						
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Садлій Л.А.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мп	

ДР 2. Підготовка хлорної води

Хлорування рідким хлором є найбільш широко застосовуваним методом знезараження води на середніх та великих водоочисних станціях. Рідкий хлор постачається в балонах під надлишковим тиском. Через малу розчинність рідкого хлору у воді реагент попередньо випаровують. На великих станціях використовують спеціальні випарники хлору у вигляді боксу, куди встановлюють балон та подається тепла вода або підігріте повітря. Хлор-газ надходить у проміжний балон, де затримуються краплі води та інші домішки. Більше повне очищення газу відбувається у фільтрі, який заповнений скловатою, замоченою в сірчаній кислоті. Редуктор забезпечує постійний тиск у системі; вимірювальний пристрій у вигляді діафрагми і ротаметра забезпечує контроль і регулювання кількості хлору, що подається. Приготування хлорної води відбувається у хлораторній. Доза активного хлору становить 5 г/м^3 [64]. Розчин прямує до ТП 10.1.

ДР 3. Підготовка розчину коагулянту

Для приготування розчину коагулянту алюмофлок концентрацією $0,6 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ розчиняють у водопровідній воді. Розчин подається до ТП 6.4. Для приготування розчину коагулянту алюмофлок концентрацією 10% розчиняють у водопровідній воді. Розчин подається до ТП 11.6.

ДР 4. Підготовка реагенту для підлужування

Для приготування реагенту для підлужування концентрацією 20% до СаО додають водопровідну воду. Розчин подається до ТП 11.6. Для приготування реагенту для підлужування до рН 7,1 до СаО додають водопровідну воду. Розчин подається до ТП 6.4.2.

ДР 5. Підготовка розчину флокулянту

Для приготування флокулянту концентрацією 2 мг/дм^3 до флокулянту ПАА додають водопровідну воду. Розчин подається до ТП 6.4.2.

ТП 6. Механічне очищення стічних вод

ТП 6.1. Проціджування стічних вод

Стічні води картонно-паперової фабрики витратою 7000 дм³/добу піддаються проціджуванню в процесі протікання рідини крізь решітки зі швидкістю 0,8 м/с для видалення крупного шламу. Механізовані решітки РМУ встановлюються у відкритий канал цеху механічного очищення стічних вод. Стічні води, що містять відходи, проходять через фільтрувальний екран решітки. Шлам затримується на екрані. Граблина, рухаючись вниз по напрямних, заходить зубами у прозори (ширина 16 мм) решітки, забирає відходи, що накопичилися і, піднімаючись вгору, подає їх до скидача. За допомогою скидача відходи з граблини переміщуються в контейнер або транспортер. Відходи вивозяться. Продуктивність – 833 м³/год. На цю стадію надходять дренажна вода від ЗВ 14, мулова вода від ПВ 11.5, фільтрат від ПВ 11.7.

ТП 6.2. Очищення на пісковловлювачах

Пісковловлювачі – споруди, дія яких ґрунтується на силі тяжіння на мінеральні частинки. Швидкість проходження стічних вод є такою, що завислі частинки у потоці починають седиментувати на дно відокремлювача. На дні відбувається ущільнення осаду, який можна видалити тільки попередньо розріджуючи гідроелеватором з очищеною водою від ТП 9. Робоча глибина складає від 0,5-2 м. Тривалість перебування стічних вод не більше 30 секунд, оскільки мінеральні частинки швидко осідають, а за більший час можуть седиментувати завислі речовини, які потрібні для мікроорганізмів на наступних етапах, тому швидкість руху течії становить 0,3 м/с. Вилучений осад містить від 55-95% піску. Піщана пульпа подається на піскові майданчики до ЗВ 13, де вона підсушується та зберігається, та вивозиться.

ТП 6.3. Усереднення стічних вод

Після пісковловлювачів стічні води збираються у спеціальну ємність усереднювача об'ємом 2336 м³, де відбувається перемішування шляхом барботування стисненого повітря, що проводиться через перфоровані труби. Труби укладаються горизонтально вздовж резервуара. Повітря надходить від ДР

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		83

1. Інтенсивність барботування – 12 м³/год на 1 погонний метр барботера усереднювача. Датчики рівня стічних вод, вмонтованих у приймальний резервуар дають сигнал для подачі води на очищення. Споруди призначені для регулювання параметрів стічних вод, які надходять на очисні споруди. Усереднення відбувається для гомогенізації складу стічних вод та вирівнювання витрат під час нерівномірного надходження вод. Тривалість усереднення – 8 годин. Усереднені значення показників промислових стічних вод на виході з усереднювача: $C_{ЗР} = 1500$ мг/дм³, $C_{БСК_{повн}} = 2000$ мг/дм³, $C_{ХСК} = 3200$ мг/дм³. З усереднювача стічні води за допомогою насоса подають на стадію напірної флотації.

ТП 6.4. Напірна флотація

ТП 6.4.1 Сатурація повітрям

Агломеровані завислі частинки відділяються від рідини методом напірної флотації. Принцип флотації базується на існуванні гідрофільних та гідрофобних частинок. Під час взаємодії води та бульбашок повітря зависль впливає на поверхню. Частинки у воді збиваються з повітряними бульбашками і разом з ними рухаються до поверхні. Після усереднення для створення водоповітряної суміші стічні води відцентровим насосом перекачуються в сатуратор, де відбувається розчинення повітря у стічній воді тиском 0,5 МПа протягом 3 хвилин. Повітря подається з атмосфери у всмоктувальний трубопровід насоса.

ТП 6.4.2 Коагуляція

Для видалення завислих речовин використовується хімічна коагуляція. Сам процес складається з коагуляції та флокуляції. Після додавання коагулянта зі стадії ДР 3, підлужувального агента від ДР 4 та флокулянта зі стадії ДР 5 завислі речовини злипаються та утворюють агломерати, які добре вспливають. Коагуляція проходить у вхідній камері флотатора, сам процес триває 15 хвилин.

ТП 6.4.3 Напірна флотація

Далі стічні води проходять до флотаційного відділення флотатора. Тривалість перебування води у флотаторі становить 20 хвилин. У споруді відбувається спливання частини флокул у вигляді флотошламу. Флотошлам

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		84

збирається з поверхні води скребковим механізмом у шламовісбірник та подається на стадію ЗВ 11.2. Стічна вода відводиться через патрубков на наступну стадію. Показники очищених стічних вод, що утворюються після флотатора: $C_{ЗР} = 105$ мг/дм³, $C_{БСКповн} = 1019$ мг/дм³, $C_{ХСК} = 2080$ мг/дм³.

ТП 7. Внесення біогенних добавок

Відсутність в стічній воді необхідної кількості сполук азоту і фосфору невідворотно призводить до порушення процесу біологічного очищення. Тому стічні води подаються у камеру змішування, оснащеною мішалкою, куди додаються розчини солей з біогенними елементами у формі NH_4NO_3 і KH_2PO_4 відповідно до співвідношення $C:N:P = 300:1:0,1$ [13]. Було прийнято $N - 60$ мг/дм³; $P - 6$ мг/дм³ в перерахунку на $NH_4NO_3 - 171$ мг/дм³; $K_2HPO_4 - 24$ мг/дм³. На 7000 м³/добу додається 1200 кг NH_4NO_3 та 166 кг K_2HPO_4 .

ТП 8. Біологічне очищення стічних вод

ТП 8.1. Анаеробне очищення

Стічні води поступають зверху у анаеробний реактор SGBR, ущільнюючи завислий гранульований мул, що знаходиться в такому стані через утворення біогазу, який піднімається вгору, збирається в газгольдер і направляється до ПВ 12.2. На дні реактора встановлена гравійна дренажна система з шаром статичного гранульованого мулу. Концентрація гранульованого анаеробного мулу становить 40 г/дм³. У разі сильного заростання біоплівки ускладнюється проходження очищеної стічної води, через що вводиться зворотне промивання. Вода подається від ТП 9. Стічні води перебувають у реакторі протягом 8 годин. Кожні 2 години відбираються проби для перевірки ефективності очищення, рН та температури. Діаметр реактора становить 10 м, висота – 22 м. Показники стічних вод, що утворюються після анаеробного реактора: $C_{ЗР} = 300$ мг/дм³ [8], $C_{БСКповн} = 210$ мг/дм³, $C_{ХСК} = 300$ мг/дм³. Тривалість перебування стічних вод – 8 годин, швидкість деструкції – 235,5 м/(дм³·год)

ТП 8.2. Вторинне відстоювання

Для відокремлення анаеробного гранульованого мулу від стічної води потрібна стадія відстоювання у вертикальному відстійнику, що здійснюється під

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		85

дією гравітаційних сил. Швидкість руху води у споруді становить 5-10 мм/с, що дозволяє осаджуватися частинкам мулу. Вертикальні відстійники використовують за витрат води до 20 тис. м³/доб та представляють собою круглі в плані резервуари з конічним днищем, що утворює ємність для накопичення осаду, з якого виходить труба для відведення осаду. Впуск води здійснюється через центральну трубу, оснащену в нижній частині розтрубом та відбивним щитом. Вода видаляється через відвідний лоток. Осад направляється у збірник та повертається в анаеробний біореактор. У технології встановлюються 3 вторинні вертикальні відстійники діаметром 9 м, висотою циліндричної частини – 3 м, висотою конічної частини – 5,1 м за типовим проєктом ТП 902-2-168. Тривалість перебування стічних вод у відстійнику – 1,5 год. На біологічне очищення рекомендується подавати воду із вмістом завислих речовин, який не перевищує 150 мг/дм³. Показники стічних вод, що утворюються після анаеробного реактора: $C_{ЗР} = 150 \text{ мг/дм}^3$, $C_{БСК\text{повн}} = 210 \text{ мг/дм}^3$, $C_{ХСК} = 300 \text{ мг/дм}^3$.

ТП 8.3. Аеробне очищення стічних вод в аеротенку-витиснювачі

Аеробне біологічне очищення проходить у аеротенку-витиснювачі. Був обраний за типовим проєктом ТП 902-2-178 двосекційний трьохкоридорний аеротенк з робочою глибиною $H = 4,4 \text{ м}$, шириною коридору $B = 4,5 \text{ м}$, довжиною коридору – 54 м. Половина коридору виділяється на регенератор, 2,5 коридори – на аеротенк. Активний мул від ТП 7 подають в канал рециркуляційного активного мулу через трубопровід для подачі рециркуляційного активного мулу від третинних відстійників і далі в регенератор, який становить половину першого коридору аеротенка. Через це стічна вода направляється через трубопровід для освітленої стічної води після вторинних відстійників та по спеціальному лотку через спускні вікна розсосереджено і змішується з активним мулом. Суміш проходить два коридори та виводиться через трубопровід для відведення очищеної стічної води на третинні відстійники у нижній канал для очищеної стічної води і активного мулу. В повітродувній встановлюються 2 робочі і 1 резервна повітродувки марки ТВ-80-1,4, які подають стиснене повітря через труби від ДР 1.3 до 1 ряду

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		86

фільтросних пластин (на один коридор) із розмірами пор 100 мкм. Аеротенк обладнаний носіями для іммобілізації «ВІЯ» у 2,5 коридорах. Носій представлений капроною текстурованою ниткою з діаметром мікрОВОлокна 100 мкм, запропонованим професором Гвоздяком П.І. Ця стадія передбачає проведення технічного, хімічного та мікробіологічного контролю. Доза активного мулу в аеротенку прийнята 3 г/дм³, доза активного мулу в регенераторі – 8 г/дм³, середня тривалість перебування стічних вод в системі аеротенк-регенератор – 21,8 год, питома витрата повітря на аерацію – 16,35 м³/м³, муловий індекс – 107 см³/г. В аеротенк також подається мулова вода від ПВ 11.1. Показники стічних вод, що утворюються після аеротенка: $C_{БСК\text{повн}} = 15$ мг/дм³, $C_{ХСК} = 70$ мг/дм³.

ТП 9. Третинне відстоювання

Третинний відстійник необхідний для відокремлення активного мулу від води. Влаштовуються 4 третинні вертикальні відстійники за ТП 902-2-168 діаметром 9 м, висотою циліндричної частини – 3 м, висотою конічної частини – 5,1 м. Надлишковий активний мул направляється до ПВ 11.1. Рециркуляційний активний мул подається насосною станцією в аеротенк до ТП 8.3 для підтримування сталої дози. Тривалість відстоювання – 1,5 год. Показники води після біологічного очищення: $C_{БСК\text{повн}} = 15$ мг/дм³, $C_{ЗР} = 15$ мг/дм³, $C_{ХСК} = 70$ мг/дм³.

ТП 10. Знезараження очищених стічних вод

ТП 10.1. Змішування стічних вод з хлорною водою

У камеру змішування подається хлорна вода від ДР 2 та змішується з очищеною стічною водою. Доза хлору становить 5 г/м³.

ТП 10.2. Знезараження очищених стічних вод в контактному резервуарі

Процес знезараження проходить у контактному резервуарі. Тривалість обробки – 30 хвилин. Зниження вмісту бактерій після хлорування – 100%. Очищені стічні води скидаються у річку Хомору. Осад подається на ЗВ 14.

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		87

ПВ 11. Обробка осаду та надлишкового активного мулу

ПВ 11.1. Ущільнення надлишкового активного мулу

Надлишковий активний мул від ТП 9 поступає в мулоущільнювач, де впродовж 12 годин віддає основну масу вільної вологи у вигляді мулової води з 99,2% вологості до 97%. Таким чином активний мул зменшується в об'ємі, що дозволяє заощадити на фінансових витратах у подальшій його обробці. Мулова вода містить значну кількість розчинених органічних забруднень, тому вона повертається в аеротенк до ТП 8.3.

ПВ 11.2. Анаеробне зброджування ущільненого надлишкового активного мулу, флотошлам та осаду

Флотошлам та осад від ТП 6.4.3 та ущільнений активний мул від ПВ 11.1. піддаються анаеробному зброджуванню у метантенку для руйнування органічної речовини, яка біологічно розкладається, на CO_2 , CH_4 та воду, що запобігає загниванню осадів за тривалого зберігання просто неба. У споруді встановлюється мезофільний режим: 33-35°C, доза завантаження – 8%. Теплоносій надходить від котельні. Біогаз, що отримується з метантенку, направляється до стадії ПВ 12. Ця стадія передбачає технічний, хімічний та мікробіологічний контроль.

ПВ 11.3. Дегельмінтизація

Мезофільний режим у метантенку не дозволяє видалити яйця гельмінтів, тому вводиться стадія дегельмінтизації, яка проходить у спеціальній камері за температури 60°C протягом 20 хвилин. Нагрівання в камері дегельмінтизації здійснюється парою від котельні. Ступінь видалення яєць гельмінтів – 100%. 20% осаду прямує до ЗВ 14 у випадку аварій на фільтр-пресах. Ця стадія передбачає технічний та мікробіологічний контроль.

ПВ 11.4. Промивка зброджуваного осаду

У камері промивки осад оброблюють протягом 20 хвилин очищеною стічною водою від ТП 9. В процесі з осаду видаляються колоїдні та дрібнодисперсні частинки. Вода, якщо була у зв'язаному стані, переходить у вільний.

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		88

ПВ 11.5. Ущільнення осаду

Далі з осаду відокремлюються вода і дрібнодисперсні частинки в ущільнювачі. В результаті вологість осаду знижується, що дозволяє полегшити подальшу обробку. Мулова вода повертається до ТП 6.1.

ПВ 11.6. Кондиціонування осаду

Для покращення віддачі води з ущільнений осад подається на реагентну обробку коагулянтном від ДР 3. Також додається і $\text{Ca}(\text{OH})_2$ від ДР 4 для підлужування середовища до рН 7,5-8, оскільки для коагуляції це оптимальні умови.

ПВ 11.7. Зневоднення на фільтр-пресі

Зменшення вологи до 71-80% відбувається під час фільтр-пресування під дією надлишкового тиску (1,2 МПа) на осад. Утворений фільтрат подається на початок очисних споруд до ТП 6.1. Зневоднений осад (кек) знімається зі стрічки фільтр-пресу і вивозиться. Для промивки фільтр-пресу вода подається від ТП 9.

ПВ 12. Утилізація біогазу

ПВ 12.1. Збір та зберігання біогазу в газгольдері

Біогаз від ПВ 11.2 збирають у мокрий газгольдер. Мокрий газгольдер складається з двох основних частин – вертикальний циліндричний резервуар для води та дзвін, що вміщується всередину. Коли споруда заповнюється газом і тиск у ньому підвищується, частина води переміщається до спеціального кільцевого простору, і використовується в даному випадку як гідравлічний ущільнювач. Під час підвищення тиску (0,25 МПа) від навантаження дзвону він піднімається вгору, а його місце може далі заповнюватися новим газом. Газгольдер також оснащений арматурою, що потрібна для подачі та відкачування газу з корпусу, для технічного обслуговування, очищення тощо. Цей етап передбачає технічний та хімічний контроль.

ПВ 12.2. Очищення біогазу

За температури процесу бродіння в 30-40°C біогаз із реактора виходить у водонасиченому стані. Зважаючи на це, сирий біогаз насичений водяною парою і містить, разом з метаном (CH_4) і двоокисом вуглецю (CO_2), також суттєві

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

кількості сірководню (H_2S). Щоб захистити агрегати газопідготовки від корозії, сильного зносу, водяну пару, сірководень та двоокис вуглецю з біогазу потрібно видалити. Також потрібно зменшити його вологість і можна використовувати очищений біогаз в якості палива для забезпечення потреб тепла на підігрів метантенка, камери дегельмінтизації. Етап передбачає технічний та хімічний контроль.

ЗВ 13. Підсушування піщаної пульпи на піскових майданчиках

На піскові майданчики подається піщана пульпа від ТП 6.2, де відбувається її підсушування до вологості 80-85% та в результаті зменшення об'єму. Далі пісок згрібається і вивозиться. Вода, яка відводиться з майданчиків, що обладнані дренажною системою, подається в початок очисних споруд до ТП 6.1.

ЗВ 14. Підсушування осаду на аварійних мулових майданчиках

На мулові майданчики подається осад у випадку аварій на фільтр-пресах від ПВ 11.3 і ТП 10.2, де відбувається їх підсушування до вологості 80-85% та в результаті зменшення об'єму. Далі осад згрібається та вивозиться. Для відведення мулової води до ТП 6.1 мулові майданчики обладнуються дренажною системою.

					МД 5521.08.000 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ.6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Ідеєю даного проєкту полягає у виборі і проєктуванні споруд для двоступеневого анаеробно-аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики в Хмельницькій області із застосуванням сучасних високоефективних технологічних рішень: анаеробних біореакторів з гранульованим мулом і аеротенків з іммобілізованими мікроорганізмами. З огляду на проблеми недоведення концентрацій забрудників до вимог скиду, важливо оптимізувати передові процеси очищення стічних вод ТзОВ ПКПФ – Україна для екологічно безпечного скидання або повторного використання. Повне очищення стічних вод є обов’язковим у багатьох випадках через їх великі витрати і кількість забрудників під час роботи підприємства. Біогаз і осад як добриво можна використовувати для комерціалізації технології очищення стічних вод.

Основні характеристики проєкту та можливі варіанти розвитку наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Класифікація стартап-ідеї

Показник	Характеристика
1. Авторська сутність ідеї	Розробити двоступеневе анаеробно-аеробне біологічне очищення стічних вод картонно-паперової фабрики
2. Наявність аналогів або прототипів ідеї	В Україні відсутні аналоги технології даного типу
3. Ступінь розробленості технології реалізації	Є різні модифікації анаеробно-аеробного очищення
4. Наявність готового технологічного обладнання	Можна купити у вільному доступі та/або на замовлення
5. Готовність техніко-технологічної бази постачальників для реалізації замовлень стартапу	Є постачальники обладнання та споруд
6. КВЕД, до якого може належати дане виробництво	Секція Е: Водопостачання. Клас 37.00: Каналізація, відведення та очищення СВ
7. Очікувана потужність стартапу	Мале підприємство
8. За масштабом виробництва (одиничне, серійне, масове)	Масове

					МД ББ21.08.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Економічна частина		
Розробила		Коваленко Г.Є.					
Перевір.		Саблій Л.А.					
Реценз.							
Н. контр.							
Затверд.		Саблій Л.А.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мп		
					Лім.	Арк.	Аркушів
						91	126

9. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільне
10. За ресурсами, що споживатимуться	Капіталомістке
11. За чисельністю персоналу	Мале
12. Бажане географічне розташування	Хмельницька область, с. Понінка, де розташоване підприємство
13. Головні фактори успіху стартапу	Очищення стічних вод підприємства, отримання біогазу та мінерального добрива, припинення сплачування штрафів за перевищення ГДС забруднень
14. За характером господарської діяльності	Промисловий
15. За рівнем технологічної цілісності	Цілісний комплекс
16. За долею іноземного капіталу	З іноземними інвестиціями
17. За формуванням статутного капіталу	Корпоративне
18. За організацією виробничих процесів	Безперервне
19. За роботою протягом року	Позасезонне
20. За географічним розташуванням на території України	Хмельницька область

Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу

Для реалізації проєкту необхідно врахувати загрози і можливості факторів зовнішнього і внутрішнього середовищ.

Таблиця 6.2. Аналіз факторів зовнішнього середовища

Фактори	Можливості	Загрози
Політика	1. Можливість купівлі якісних матеріалів для очищення з-за кордону по вигідній ціні 2. Можливість залучення іноземних інвесторів	1. Втрата потенційних покупців добрива з тимчасово окупованих територій
Економіка	1. Можливість платити податки у меншому розмірі за рахунок зеленого тарифу. 2. Можливість усунення конкурентів у плані кращої оптової ціни (добриво як побічний продукт і можливість окупання встановлення споруд для біологічного очищення).	1. Існує ризик збанкрутування внаслідок невиконання мінімальної щомісячної норми продажу внаслідок збільшення розміру оподаткування

Науково-технічний прогрес	1. Через швидке розповсюдження інформації через Інтернет виникає загроза плагіату даної розробки 2. Можливість вибору недорогого обладнання може відобразитися на його недовговічності	1. Можливість без складнощів придбати необхідне обладнання 2. Можливість пошуку кваліфікованих співробітників для виробництва/лабораторії/Інтернет, що економить час 3. Патент на технологію дозволить зменшити ризик плагіату нашого стартапу на ринку України
---------------------------	--	--

Таблиця 6.3. Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища

Переваги	Недоліки
Фактор - Постачальники	
Можливість закупати обладнання у вітчизняних постачальників за вигідними цінами	Для закордонних постачальників - збільшений час отримання обладнання Відсутнє знання про якість товару, який замовлено з-за кордону
Фактор - Посередники	
Можна орендувати дороговартісне обладнання, яке на даний момент не можна купити Даний фактор не впливає на кінцеву вартість товару	Можливість ненадійних орендодавців обладнання
Фактор - Споживачі	
Радіють, що вода в річці не забруднена	Недовіра до продавця через спосіб отримання добрива
Фактор - Конкуренти	
Добрива є досить актуальним за попитом товаром на ринку, незважаючи на те, що це не є товар першої необхідності.	Існування великої конкуренція на ринку добрив Відсутність досвіду картонно-паперової фабрики у продажі добрив

Таблиця 6.4. Переваги та недоліки внутрішнього середовища

	Переваги	Недоліки
Організаційна структура	Наявний простір для виробництва Низький рівень зношеності обладнання	Необхідність в обладнанні для перевірки на якість
Технологічне забезпечення (інфраструктура, оснащення)	Сучасні технології	Дороговартісне обладнання Дорога амортизація обладнання Складність методики Значна кількість необхідного контролю за технологічним процесом
Персонал	Дружній колектив Молоді кваліфіковані спеціалісти Відповідальний персонал	Малий досвід працівників
Забезпечення ресурсами	Легкодоступна сировина Можливість оренди обладнання Наявне приміщення	Можливість ненадійних орендодавців обладнання

Результати аналізу факторів зовнішнього середовища дають можливість сформулювати перелік зацікавлених сторін.

Таблиця 6.5. Аналіз зацікавлених сторін

Зацікавлена сторона	Вплив її на реалізацію проєкту	Цікавість її до проєкту	Загальний коефіцієнт впливу на проєкт
Суб'єкти внутрішнього середовища			
Постачальники обладнання			
Іноземні	5	3	4
Українські	5	3	4
Постачальники реагентів			
Іноземні	5	3	4

Продовження таблиці 6.5

Українські	5	3	4
Споживачі			
Підприємства агрофірми	4	4	4
Зовнішнє середовище			
Політичні структури			
Обласна адміністрація	3	5	4
Держбуд України	4	5	4,5
Міністерство охорони здоров'я України	4	5	4,5
Суб'єкти економічного середовища			
Конкуренти продажу добрива в Україні	1	4	2,5
Державна податкова служба України	1	3	2
Суб'єкти демографії			
Міське населення	5	5	5
Сільське населення	5	5	5
Суб'єкти культурного середовища			
Екоактивізм	5	5	5
Суб'єкти НТП			
Виробник обладнання	5	5	5

Міністерство екології та природних ресурсів України	5	5	5
Державна екологічна інспекція	5	5	5

Визначення ключових факторів успіху проєкту

Ключові фактори успіху надаються у розрахунку експертної оцінки методом Шонфільда.

Таблиця 6.6. Експертна оцінка

Характеристика	Коефіцієнт вагомості характеристики	Оцінка характеристик		
		Наша фабрика	Фабрика 1	Фабрика 2
Ціна	0,3	3	4	5
Ступінь очищення	0,35	5	2	3
Можливість заробітку	0,35	4	2	3

Таблиця 6.7. Результати отриманих даних

Характеристика	Коефіцієнт вагомості характеристики	Оцінка характеристик		
		Наша фабрика	Фабрика «Картон»	Фабрика «Папір»
Ціна	0,3	$0,3 \cdot 3 = 0,9$	$0,3 \cdot 4 = 1,2$	$0,3 \cdot 5 = 1,5$
Ступінь очищення	0,35	$0,35 \cdot 5 = 1,75$	$0,35 \cdot 2 = 0,7$	$0,35 \cdot 3 = 1,05$
Можливість заробітку	0,35	$0,35 \cdot 4 = 1,4$	$0,35 \cdot 2 = 0,7$	$0,35 \cdot 3 = 1,05$
Сума оцінок		4,05	2,6	3,6

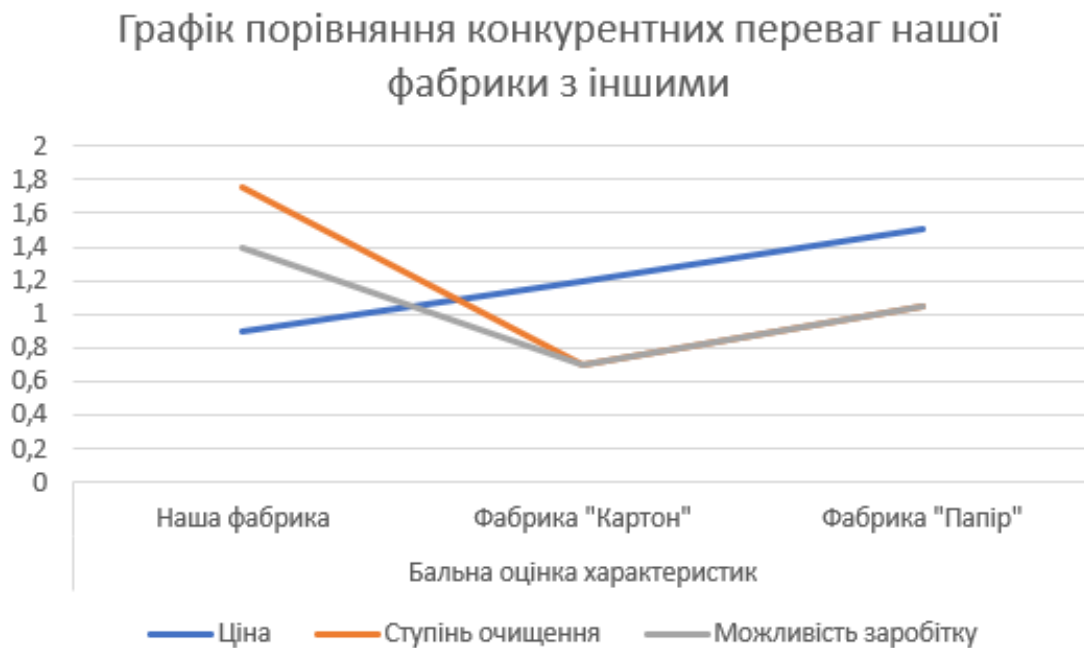


Рис. 6.1 Діаграма Шонфільда

Конкурентна перевага нашої фабрики – висока ступінь очищення стічних вод та можливість заробітку за рахунок біогазу та добрива, отриманого з переробки осаду. Проте, ціна устаткування дуже висока.

Таблиця 6.8. Варіанти розвитку ідеї стартапу

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
1. Збільшення ступеню очищення стічних вод	Доведення концентрацій забрудників до вимог скиду
2. Отримання побічних продуктів	Отримання біогазу зі стадії анаеробного очищення стічних вод та анаеробного зброджування осадів та мінерального добрива зі стадії переробки осадів.

Визначення потенційних споживачів

Таблиця 6.9. Паспорт клієнта

Критерій	Категорії
Форма реєстрації	Юридична особа
За масштабом	Велике підприємство
За сплатоспроможністю	10 млн
Географія	Вся Україна Чисельність населення: 30 млн.осіб Динаміка росту регіону: немає значення. Структура регіону: немає значення. Правові обмеження торгівлі: норми ГДС забруднень.
Обмеження	Соціальний рівень споживачів: немає значення. Спосіб життя: мала кількість підприємств займається влаштуванням ефективних очисних споруд для чоищення стічних вод. Тип особистості споживачів: дотримання закону про "Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та Порядку визначення розміру плати, що справляється за понаднормативні скиди стічних вод до систем централізованого водовідведення»
Ставлення до товару	Мотивація придбання: дотримання закону України та несплатування штрафів. Пошук вигоди: несплатування штрафів, вигідне використання біогазу та добрива. Ставлення до товару: екофрендлі. Інформованість про товар: проведення лабораторних досліджень показників очищеної стічної води. Інтенсивність споживання товару: безперервне.
Характеристика споживача	Вік: платоспроможна людина від 18 років. Склад сім'ї: немає значення. Рівень доходу: немає значення. Етап життєвого циклу сім'ї: немає значення. Традиції: немає значення.
Співвідношення бажання придбати і цінової межі	Спроектована технологія очищення стічних вод є привабливою для підприємства, оскільки може уникнути систематичних штрафів відповідно до законодавства.

Розрахунок собівартості продукту і вартості проєкту

Необхідно провести розрахунок готової продукції – очищеної стічної води, біогазу та добрива. Основні засоби представлені у таблиці 6.10. Джерелом фінансування є фінансові інвестиції та/або кредит у банку.

Таблиця 6.10. Забезпеченість проєкту основними засобами

Місце ОЗ у технологічному процесі	Повна початкова вартість ОЗ, грн	Плановий період експлуатації ОЗ, років	Амортизаційні внески, грн/рік
Будівлі	61000	50	1220
Повітрязабірник	5000	5	1000
Фільтр попереднього очищення	20000	10	5000
Повітродувка	17000	10	1500
Баки для приготування розчинів реагентів (4)	76000	10	1800
Об'ємно-ваговий дозатор (10)	200000	10	20000
Насос відцентровий (13)	130000	10	13000
Решітки	8000	10	800
Пісковловлювач	69000	40	1725
Усереднювач	76000	40	1900
Насос (2)	30000	10	3000
Сатуратор (2)	34000	10	3400
Флотатор (2)	50000	25	2000
Камера змішування (2)	40000	10	4000
Анаеробний біореактор (2)	800000	40	20000
Вторинний відстійник (3)	150000	40	3750
Аеротенк-витиснювач	150000	30	5000
Третинний відстійник (4)	200000	40	5000
Контактний резервуар	25000	20	1250
Касети з носіями для аеротенка	25000	5	5000
Мулоущільнювач	30000	30	1000
Бак для осаду (2)	20000	10	2000
Метантенк	1000000	50	20000
Камера дегельмінтизації	25000	10	2500

Продовження таблиці 6.10

Камера промивки осаду	25000	10	2500
Камера обробки осаду	25000	10	2500
Фільтр-прес	40000	20	2000
Газгольдер	135000	40	3375
Відцентрово-барботажний апарат	35000	20	1750
Пісковий майданчик	50000	50	1000
Муловий майданчик	50000	50	1000
Трубопровід	200000	10	20000
Запірна арматура	50000	5	10000
Обладнання для лабораторії очисної станції	80000	20	4000
Сума	2959000		173970

Сума основних фондів складає 2959000 грн, амортизація – 173970 грн.
Фінансування купівлі реагентів йде з фонду підприємства.

Таблиця 6.11. Забезпеченість проєкту оборотними фондами – реагенти

Реагент	Ціна, грн/т	Загальні витрати
Газоподібний хлор	80 тис. грн/т	7,7 т · 80 тис. грн = 616 тис. грн
Негашене вапно	20 тис. грн/т	2 т · 20 тис. грн = 40 тис. грн
Алюмофлок	28 тис. грн/т	2 т · 30 тис. грн = 60 тис. грн
ПАА	50 тис.грн/т	5 т · 50 тис. грн = 250 тис. грн
Амоній нітрат	12,5 тис.грн/т	438 т · 12,5 тис. грн = 5475 тис. грн
Монофосфат калію	60,8 тис.грн/т	60,59 т · 60,8 тис. грн = 3684 тис. грн
		Сума: 10125 тис. грн

Таблиця 6.12. Забезпеченість проєкту оборотними фондами – електроенергія

Обладнання	Загальна потужність обладнання, кВт	Час роботи, год/рік	Загальні витрати електроенергії, кВт	Вартість електроенергії, грн/рік
Повітродувка (2 шт.)	55	8760	963000	4143480
Насоси (15 шт.)	30	8760	3942000	14690520
Фільтр-прес	3	4380	13140	56502
Інше обладнання			10000	43000
Сума:			4928140	18933502

Оскільки технологія передбачає утворення біогазу, розрахуємо, чи електроенергія, отримана від біогазу покриває потреби очисної станції. Вихід метану становить $0,25 \text{ м}^3/\text{кг}$ вилученого ХСК [13].

Таблиця 6.13. Розрахунок кількості електроенергії, отриманої з біогазу

Кількість ХСК за годину	$3,2 \text{ кг/м}^3 \cdot 292 \text{ м}^3/\text{год} = 934,4 \text{ кг/год}$
Кількість біогазу, отриманої за годину	$934,4 \text{ кг/год} \cdot 0,25 \text{ м}^3/\text{кг} = 233,6 \text{ м}^3/\text{год}$
Кількість електроенергії, отриманої за годину	$2,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 233,6 \text{ м}^3/\text{год} = 584 \text{ кВт} \cdot \text{год}$
Кількість електроенергії, отриманої за рік	$584 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 8760 \text{ год} = 5115840 \text{ кВт}$
Кількість осаду за годину	$1,4 \text{ кг/м}^3 \cdot 292 \text{ м}^3/\text{год} = 408,8 \text{ кг/год}$
Кількість біогазу, отриманої за годину	$408,8 \text{ кг/год} \cdot 0,1 \text{ м}^3/\text{кг} = 40,88 \text{ м}^3/\text{год}$
Кількість електроенергії, отриманої за годину	$2,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 40,88 \text{ м}^3/\text{год} = 102,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$
Кількість електроенергії, отриманої за рік	$102,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 8760 \text{ год} = 895272 \text{ кВт}$
Сума	$895272 + 5115840 = 6011112 \text{ кВт}$

За розрахунками встановлено, що отриманий біогаз покриває потребу в електроенергії очисних споруд технології анаеробно-аеробного біологічного очищення стічних вод картонно-паперової фабрики.

Таблиця 6.14. Забезпеченість проєкту трудовими ресурсами

Категорія кадрів	Назва посади	Чисельність за списком на посаді	Кваліфікаційні вимоги	Плановий рівень заробітної плати	Джерело фінансування ФОП
Керівники	Директор	1	Наявність вищої освіти за спеціальністю “Біологія”, “Біотехнології” чи прилеглі спеціальності. Стаж роботи за спеціальністю від 5 років	40000 грн/міс (480000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.

Продовження таблиці 6.14

Спеціалісти	Завідувач хім. лабораторії	1	Наявність вищої освіти за спеціальністю “Хімія”, “Біотехнології” чи прилеглі спеціальності. Стаж роботи за спеціальністю від 3 років	30000 грн/міс (360000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.
	Лаборант хім. аналізу	1	Наявність вищої освіти за спеціальністю “Хімія”, “Біотехнології” чи прилеглі спеціальності. Стаж роботи за спеціальністю від 2 років	15000 грн/міс (180000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.
	Лаборант мікро-біолог. аналізу	1	Наявність вищої освіти за спеціальністю “Біолог”, “Біотехнології” чи прилеглі спеціальності. Стаж роботи за спеціальністю від 2 років	15000 грн/міс (180000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.
	Оператор очисних споруд	1	Середня спеціальна технічна освіта. Стаж роботи за спеціальністю від 1 року	15000 грн/міс (180000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.
	Менеджер	1	Наявність вищої освіти за спеціальністю “Менеджер”. Стаж роботи за спеціальністю від 2 років	20000 грн/міс (240000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.
Робочі допоміжні	Електрик	1	Середня технічна освіта за спеціальністю «Електрик». Стаж роботи за спеціальністю від 1 року	15000 грн/міс (180000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.

Продовження таблиці 6.14

	Механік цеху	1	Середня спеціальна технічна освіта. Стаж роботи за спеціальністю від 2 років.	15000 грн/міс (180000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.
	Прибиральник	1	Середня освіта. Без досвіду роботи.	9000 грн/міс (108000 грн/рік)	Внутрішні джерела – власні кошти.

Таблиця 6.15. Забезпеченість трудових ресурсів заробітною платою

Сума	174 тис. грн/міс
Відрахування податків (19,5%)	$174 \cdot 0,195 = 33,93$ тис. грн/міс
Виплата ЄСВ (22%)	$0,22 \cdot (174 + 33,93) = 45,74$ тис. грн/міс
Сума з урахуванням податків	$174 + 33,93 + 45,74 = 253,67$ тис. грн/міс
Сума за рік	$253,67 \cdot 12 = 3044,04$ тис. грн/рік

Таблиця 6.16. Калькуляція собівартості стартап-продукту

Стаття калькуляції	Витрати на технологію, грн/рік	Витрати на одиницю готової продукції, грн/т
Реагенти	10125 тис.	2774
Енерговитрати	0	0
Заробітна плата (з нарахуваннями)	3044,04 тис.	834
Амортизаційні витрати	173,97 тис.	48
Вартість основних фондів	2959 тис	811
Інші витрати	100 тис.	27
Повна собівартість	16403100	4494

Таблиця 6.17. Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниця виміру	Умовне позначення, формула розрахунку
1. Річний обсяг реалізації технології	м ³	$B = 7000 \text{ м}^3/\text{добу} \cdot 365 \text{ діб} = 2555000 \text{ м}^3$
2. Капіталовкладення у проєкт	Грн	$K = \text{ОФ} + \text{ОБК}$ $K = 2959000$

3. Річний обсяг реалізації ідеї	Тонн	$B = 10 \cdot 365 \text{ діб} = 3650 \text{ т}$
4. Повна собівартість	Грн	$C = A + O\&K$ $C = 16403100$
5. Відносний прибуток	Грн/т	$\Pi = \text{Ц} - C$ $\Pi = 5000 \cdot 3650 - 4494 \cdot 3650 = 1846900 \text{ грн/т}$
6. Рентабельність	%	$P = (\Pi/C) \cdot 100$ $P = (1846900/2959000) \cdot 100 = 62\%$
7. Фондовіддача виробничих фондів	Грн/грн	$\Phi B = (\text{Ц} \cdot B) / O\Phi$ $\Phi B = (5000 \cdot 3600) / 173970 = 103 \text{ грн/грн}$
8. Середньорічна чисельність персоналу за списком	Осіб	$\text{Ч}_{\text{сп}} = 9$

Розрахунок ціни інноваційної пропозиції на ринку

Таблиця 6.18. Проектні ціни продажу ідеї

Найменування продукту	Планові обсяги продажу	
Добриво	Кількість, т.	Ціна, грн/т
	3650	5000

Основні методи ціноутворення:

1. Витратний метод:

$\text{Ц} = C + \text{фіксований відсоток прибутку (від собівартості) [грн/т]}$, де Ц прогнозована ціна товару, грн/од, С – розрахована собівартість товару, грн/т.

$$\text{Ц} = 4494 + 5\% \cdot 4494 = 4719 \text{ грн/т}$$

2. Конкурентний метод.

Конкурент 1 – має ціну 6000 грн, конкурент 2 – 4000 грн.

$$\text{Ц} = (4000 + 6000) / 2 = 5000 \text{ грн/т}$$

Відпускна ціна без урахування торгової надбавки (12%):

$$\text{Ц}_{\text{відп}} = 5000 - (5000 \cdot 0,12) = 4400 \text{ грн}$$

Ціна виробника без урахування ПДВ (20%):

$$\text{Ц}_{\text{вир}} = 4400 - (4400 \cdot 0,2) = 3520 \text{ грн}$$

Ціна з фіксованим відсотком прибутку 42% становить:

$$Ц_T = 3520 \cdot 1,42 = 5000 \text{ грн}$$

3. Агрегатний метод

$$Ц = 2774 + 834 + 48 + 811 + 27 = 4494 \text{ грн/т}$$

де C – ціна ідеї, технології, розробки, за якою автор пропонуватиме її на ринку, грн/од., C_i – ціна i -того компоненту багатокомпонентного товару, грн/т.

4. Метод на основі аналізу точки безбитковості.

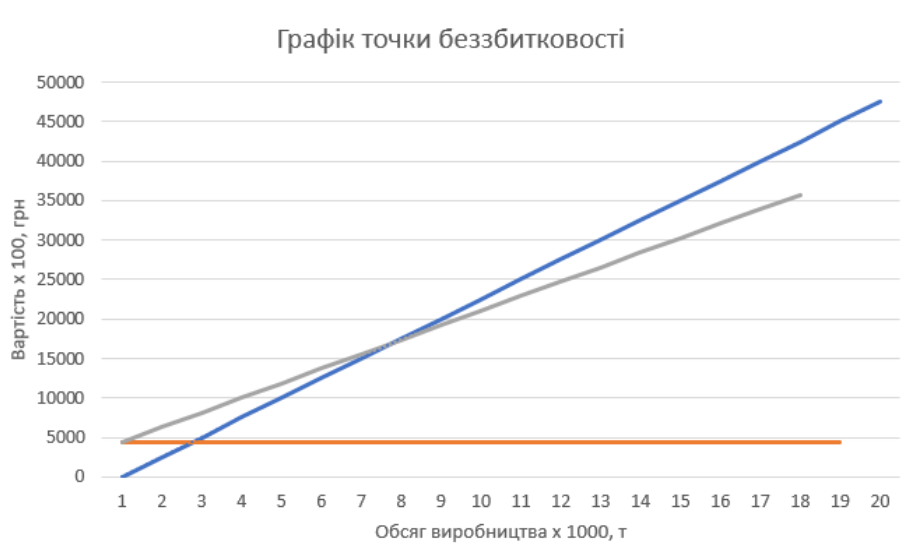


Рис. 6.2 Графік безбитковості лежить на виробництві на 788 т добрива за рік.

Карта бізнес-процесів реалізації проєкту

Таблиця 6.19. Карта бізнес-процесів виконання стартап проєкту

Стадія реалізації стартап проєкту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат
Розробка ідеї стартапу	1. Формування актуальності ідеї 2. Огляд доступності ресурсів для втілення ідеї 3. Пошук зацікавлених осіб 4. Формування каркасу майбутньої технології	Інтелектуальна праця Інтернет-ресурси	1. 2 днів 2. 14 днів 3. 7 днів 4. 7 днів	120000 грн
Реалізація ідеї	5. Пошук потенційних інвесторів 6. Закупівля обладнання 7. Оформлення документів 8. Наймання робочої сили та її навчання	Людські ресурси Фінансові ресурси	6. 7 днів 7. 30 днів 8. 30 днів 9. 30 днів	3 млн грн

Продовження таблиці 6.19

Впровадження у виробництво	9. Вихід готового продукту (очищена вода, біогаз, добриво) 10. Аналіз стічної води	Людські ресурси Інтернет-ресурси Фінансові ресурси	10. 30 днів 11. 1 день	30000 грн
Масова реалізація	11. Доведення роботи підприємства до автоматизму 12. Реклама побічних продуктів	Людські ресурси Фінансові ресурси	12. 30 днів 13. 30 днів	100000 грн

Таблиця 6.20. Системний аналіз бізнес-процесів стартапу

Функції	Елементи					
	Директор	Завідувач хім. лаб-рії	Лаборанти хім. і м/б аналізу	Оператор очисних споруд, електрик, механік цеху	Менеджер	Прибирання
1. Формування актуальності ідеї	+					
2. Огляд доступності ресурсів для втілення ідеї	+	+				
3. Пошук зацікавлених осіб	+				+	
4. Формування каркасу майбутньої технології	+					
5. Пошук потенційних інвесторів	+				+	
6. Закупівля обладнання		+			+	
7. Оформлення документів	+					

8. Наймання робочої сили та її навчання	+	+				
9. Вихід готового продукту (очищена вода, біогаз, добриво)			+	+		
10. Аналіз стічної води			+			
11. Доведення роботи підприємства до автоматизму			+	+		+
12. Реклама побічних продуктів					+	

Ризики стартап-проєкту та методи управління ними

Таблиця 6.21. Ризики інноваційної розробки

Назва процесу/стадії реалізації стартап проєкту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Розробка ідеї стартапу	1.Формування актуальності ідеї 2. Огляд доступності ресурсів для втілення ідеї 3. Пошук зацікавлених осіб 4. Формування каркасу майбутньої технології	1.Високий рівень конкуренції 2.Відсутність інвестицій у проєкт	1.Різне бачення ідеї у розробників 2. Помилки розробників 3.Недостатня кількість зацікавлених сторін

Реалізація ідеї	5. Пошук потенційних інвесторів 6. Закупівля обладнання 7. Оформлення документів 8. Наймання робочої сили та її навчання	1. Нестача капіталовкладень 2. Проблеми з оформленням документів	1. Ризик на виробництві 2. Недостатня кваліфікація робітників 3. Високі ціни на обладнання
Впровадження у виробництво	9. Вихід готового продукту (очищена вода, біогаз, добриво) 10. Аналіз стічної води	1. Зміна законодавства	1. Недостатня кваліфікація робітників 2. Проблеми з устаткуванням
Масова реалізація	11. Доведення роботи підприємства до автоматизму 12. Реклама побічних продуктів	1. Відсутність замовлень 2. Довготривала окупність обладнання	1. Ризик збитків

Таблиця 6.22. План заходів з управління ризиками

Назва ризику	Назва методу управління ризиком	Відповідальні виконавці	Період виконання / застосування методу	Очікувані результати від впровадження методів управління
Високий рівень конкуренції	Прийняття ризику	Директор, менеджер	Період розробки ідеї стартапу	Стратегія підвищення конкурентоспроможності
Відсутність інвестицій у проєкт	Попередження ризику	Директор, менеджер	Період розробки ідеї стартапу	Достатня кількість інвестицій
Різне бачення ідеї у розробників	Попередження ризику	Директор, менеджер, завідувач хім. лаб.	Період розробки ідеї стартапу	Розробка єдиного плану
Помилки розробників	Попередження ризику	Директор, менеджер, завідувач хім. лаб.	Період розробки ідеї стартапу	Посилення контролю в розробці плану
Нестача капіталовкладень	Попередження ризику	Директор, менеджер	Період реалізації ідеї	Достатня кількість інвестицій
Проблеми з оформленням документів	Попередження ризику	Директор	Період реалізації ідеї	Посилення контролю за документообігом
Ризик на виробництві	Попередження ризику	Директор	Період реалізації ідеї	Попередження аварійних ситуацій

Продовження таблиці 6.22

Недостатня кваліфікація робітників	Попередження ризику	Директор, менеджер, завідувач хім. лаб.	Період реалізації ідеї	Підвищення кваліфікації співробітників
Високі ціни на обладнання	Прийняття ризику	Директор, завідувач хім. лаб.	Період реалізації ідеї	Пошук оптимальних цін
Зміна законодавства	Прийняття ризику	-	Період впровадження у виробництво	-
Недостатня кваліфікація робітників	Попередження ризику	Директор, менеджер, завідувач хім. лаб.	Період впровадження у виробництво	Підвищення кваліфікації
Довготривала окупність обладнання	Прийняття ризику	-	Період масової реалізації	Збільшення товарообігу
Ризик збитків	Попередження ризику	Директор	Період масової реалізації	Пропрацювання стратегії

Висновок: стартап-проект націлений на розробку стратегії комерціалізації очисної станції картонно-паперової фабрики за рахунок отримання біогазу та добрива зі стадії переробки осаду. В ході розробки було отримано такі результати: ціна одиниці продукції становить 5000 грн/т, собівартість – 4494 грн/т, рентабельність – 62%. Технологія та стартап-проект придатні для впровадження, оскільки є можливість очистити стічні води та припинити платити штрафи за скид забруднених стічних вод у річку, окупити вартість очисних споруд та покрити витрати на електроенергію на їх експлуатацію.

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА СТАНЦІЯХ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Значна частина забруднень, що містяться в стічних водах, є горючими або сильнодіючими отруйними речовинами, які можуть переходити з води в повітря, забруднюючи атмосферу, а в деяких випадках створювати концентрації, близькі до вибухонебезпечних. Шкідливий вплив хімічних речовин на організм людини посилюється у зв'язку з їх різноманітністю, а також з можливістю їх комбінованої дії. Основною причиною забруднення повітряного середовища є розташування очисних споруд (усереднювачів, відстійників, аеротенків тощо) на відкритому майданчику. Ці споруди мають більшу площу дзеркала води і, отже, більшу площу контакту з повітрям атмосфери. Виділення речовин в атмосферу значною мірою інтенсифікується внаслідок пневматичного перемішування стічних вод. Великі площі виділення забруднень, значний обсяг забруднених викидів і різноманітність хімічних речовин, що містяться в них, у малих концентраціях не дозволяють організувати збір, очищення та відведення цих забруднених викидів з прийнятними витратами. Тому забезпечення безпеки проведення робіт з експлуатації очисних споруд засноване на суворому дотриманні технологічного регламенту та виробничих інструкцій, а також на застосуванні індивідуальних засобів захисту.

На майданчику очисних споруд необхідно дотримуватися таких правил:

- допускати робітників до виконання робіт можна тільки після відповідності навчання і інструктажу;
- робітники повинні працювати у спецодязі;
- забороняється використовувати на майданчику відкритий вогонь;
- у приміщенні насосних станцій, що перекачують біологічно неочищені стічні води, в зоні усереднителів, первинних відстійників і аеротенків допускається працювати тільки неіскристим обмідненим інструментом;

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці та техніка безпеки на станціях очищення стічних вод	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробила		Коваленко Г.Є.						
Перевір.		Саблій Л.А.					110	126
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мп	

- все електрифіковане обладнання, встановлене на лінії стічних вод до їх надходження в аеротенки, повинно бути у вибухобезпечному виконанні;
- необхідно регулярно перевіряти справність заземлення обладнання;
- у приміщенні насосних станцій з перекачування неочищених виробничих стічних вод має бути передбачено влаштування систем аварійної вентиляції.

Для безпечного обслуговування обладнання розроблені спеціальні інструкції, що включають відомості про пуск, зупинку та експлуатацію обладнання, основні положення з техніки безпеки, режим і параметри роботи установки, короткі відомості про ремонт.

Експлуатаційний персонал під час обслуговування обладнання зобов'язаний дотримуватись заходів безпеки, передбачених нормативними документами. Не допускати ремонт зовнішніх частин апаратів під тиском. Забороняється проводити заміну сальників на арматурі, що під тиском і підтягувати сальники на насосах, що працюють.

Щоб уникнути ураження електричним струмом і травмування частинами обладнання, що обертаються, обладнання забороняється пускати в роботу обладнання, що не має заземлення і зі знятими огорожами частин, що обертаються.

Приміщення ділянки хімічної водопідготовки з пожежної безпеки належать до категорії Д. Усі виробничі приміщення забезпечені первинними засобами пожежогасіння. Кожен працівник, який помітив пожежу, зобов'язаний повідомити про це майстра або начальника дільниці, зателефонувати до пожежної служби та вжити заходів щодо ліквідації або обмеження поширення пожежі.

Робоче місце освітлене розсіяним та нерізким світлом. Передбачено додаткове аварійне освітлення робочих місць від самостійного джерела живлення електроенергією незалежно від загальної електроосвітлювальної мережі. Мікроклімат виробничих приміщень має такі параметри:

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
						111
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- температура повітря в холодний період року 17-20°C, в теплий - 20-22°C;
- відносна вологість повітря в холодний та теплий період року 60-40%;
- швидкість руху повітря у холодний період року 0,2-0,3 м/с, у теплий період року – 0,3-0,4 м/с.

Під час обслуговування очисних споруд та обладнання робітники повинні користуватися засобами індивідуального захисту, які наведено у таблиці 7.1 [66].

Таблиця 7.1. Засоби індивідуального захисту для робітників очисної станції [66]

Засіб індивідуального захисту	Періодичність забезпечення
Костюм для захисту від загальних виробничих забруднень та механічних впливів	1 раз на рік
Чоботи гумові	1 пара на рік
Рукавиці з полімерним покриттям	12 пар на рік
Рукавиці гумові	до зношення
Засіб індивідуального захисту органів дихання фільтрувальний або такий, що ізолює	до зношення

ВИСНОВКИ

1. На підставі огляду літератури було розглянуто характеристики фізико-хімічного складу стічних вод та очищення картонно-паперової фабрики. Щонайменше 80% технологічних стічних вод виробництва паперу включають завислі речовини, високі показники ХСК та БСК, що складають продукти деструкції целюлози, аліфатичні, терпенові і ароматичні вуглеводні, спирти, жирні кислоти.

2. Встановлено, що стічні води картонно-паперової фабрики є висококонцентрованими, і очищення на діючій очисній станції не дозволяє отримати очищену воду відповідно до вимог скиду. Тому було вибрано технологію біологічного очищення стічних вод: двоступеневе анаеробно-аеробне біологічне очищення з використанням SGBR-реактора та аеротенка з касетами з носіями для іммобілізації мікроорганізмів. Ця технологія дозволить отримати очищену стічну воду з показниками ХСК – 70 мг/дм³, БСК_{повн} – 15 мг/дм³.

3. Розраховано та прийнято очисні споруди: анаеробний біореактор SGBR, аеротенк-витиснювач з носіями іммобілізованих мікроорганізмів та вертикальні вторинні і третинні відстійники.

4. Наведено характеристику біологічних агентів – гранульованого мулу та іммобілізованого на носіях активного мулу.

5. Спроектовано технологічну та апаратурну схеми біологічного очищення стічних вод, очисну споруду - аеротенк з касетами з носіями для іммобілізації мікроорганізмів.

6. В ході розробки стартап-проекту було отримано такі результати: ціна добрива становить 5000 грн/т, собівартість – 4494 грн/т.

					МД ББ21.08.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Висновки	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробила		Коваленко Г.Є.					113	126
Перевір.		Саблій Л.А.						
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		Саблій Л.А.						
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мп		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. D. Pokhrel, T. Viraraghavan, Treatment of pulp and paper mill wastewater—a review, *Science of The Total Environment*, Volume 333, Issues 1–3, 2004, Pages 37–58, ISSN 0048-9697.
2. Ram, Chhotu, Rani, Pushpa, Gebru, Kibrom Alebel and Mariam Abrha, Mebrhit G. "Pulp and paper industry wastewater treatment: use of microbes and their enzymes" *Physical Sciences Reviews*, vol. 5, no. 10, 2020, pp. 20190050.
3. Hubbe, M. A., Metts, J. R., Hermosilla, D., Blanco, M. A., Yerushalmi, L., Haghghat, F., Lindholm-Lehto, P., Khodaparast, Z., Kamali, M., and Elliott, A. (2016). "Wastewater treatment and reclamation: A review of pulp and paper industry practices and opportunities," *BioRes.* 11(3), 7953-8091.
4. Lin, C.-J., Zhang, P., Pongprueksa, P., Liu, J., Evers, S. A., & Hart, P. (2013). Pilot-scale sequential anaerobic-aerobic biological treatment of waste streams from a paper mill. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33(2), 359–368.
5. Han, N., Zhang, J., Hoang, M., Gray, S., & Xie, Z. (2021). A review of process and wastewater reuse in the recycled paper industry. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101860.
6. Man, Y., Han, Y., Wang, Y., Jigeng, Li, Chen, L., Qian, Y., Hong, M., 2018. Woods to goods: water consumption analysis for papermaking industry in China. *J. Clean. Prod.* 195, 1377–1388.
7. Jung, H., Kappen, J., 2014. Water in the paper industry. *Prof. Papermak.* 2, 11–13.
8. “Technical EIA Guidance Manual for Pulp and Paper Industries” (prepared for Government of India Ministry of Environment and Forests) by IL&FS EcoSmart Limited Hyderabad, 2010.
9. Blanco, A., Hermosilla, D., Negro, C., 2015. Water reuse within the paper industry. In: Fatta-Kassinos, D., Dionysiou, D.D., Kummerer, K. (Eds.), *Wastewater Reuse and Current Challenges*. Springer, Cham, pp. 213–237.

					<i>МД ББ21.08.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробила</i>		<i>Коваленко Г.Є.</i>			<i>Список використаних джерел</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Саблій Л.А.</i>					<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>							114 126
<i>Н. контр.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ, ББ-21мн</i>	
<i>Затверд.</i>		<i>Саблій Л.А.</i>					

10. Zwain, Haider & Dahlan, Irvan. (2014). Biological Treatment of Recycled Paper Mill Wastewater Using Modified Anaerobic Inclining-Baffled Bioreactor (MAIB-R).
11. Stetter, A., 2012. Paper and board, water circuits. In: Ullmann's Encyclopidia of Industrial Chemistry. pp. 1–8.
12. Zhao, Y., Deng, Y., Zhu, J.Y., 2004. Roles of surfactants in floatation deinking. Prog. Pap. Recycl. 14, 41–45.
13. Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. (2009). A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. Chemical Engineering Journal, 155(1-2), 1–18.
14. Driessen, W. J. B. M.; Habets, L. H. A.; Van Driel, E. Anaerobic treatment of pulp and paper mill effluents: an overview of applications. Appita J. 2007, 60, 101.
15. Foresti, E., Zaiat, M. & Vallero, M. Anaerobic Processes as the Core Technology for Sustainable Domestic Wastewater Treatment: Consolidated Applications, New Trends, Perspectives, and Challenges. Rev Environ Sci Biotechnol 5, 3–19 (2006).
16. Van Lier, JB., Mahmoud, N., & Zeeman, G. (2008). Anaerobic biological wastewater treatment. In M Henze, V. M Loosdrecht, G.A. Ekama, & D Brdjanovic (Eds.), Biological wastewater treatment: principles, modelling and design (pp. 415-511). International Water Association (IWA).
17. Van Lier, J.B., van der Zee, F.P., Frijters, C.T.M.J. et al. Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment. Rev Environ Sci Biotechnol 14, 681–702 (2015).
18. Anijiofor-Ike, Chinenyenwa & Azreen, Nor & Mohd Jamil, Nor Azreen Binti & Saleem, Sarah & Sakyat, Saad & Gomes, Chandima. (2017). Aerobic and Anaerobic Sewage Biodegradable Processes: The Gap Analysis. 3. 9-19.
19. Bajpai, Pratima. (2017). Anaerobic Technology in Pulp and Paper Industry.
20. Zwain, Haider & Dahlan, Irvan. (2014). Biological Treatment of Recycled Paper Mill Wastewater Using Modified Anaerobic Inclining-Baffled Bioreactor (MAIB-R).
21. Hassan, S. R., Zaman, N. Q., & Dahlan, I. (2019). Evaluation of recycled paper mill effluent digestion in a modified anaerobic hybrid baffled (MAHB) reactor: reactor performance & kinetic studies. Preparative Biochemistry & Biotechnology, 1–6.

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		115

22. Hassan, Siti & Zaman, Nastaein & Dahlan, Irvan. (2014). Performance and Operational Characteristics of Modified Anaerobic Hybrid Baffled (MAHB) Reactor Treating Low Strength Recycled Paper Mill Effluent (RPME) Wastewater. Scientific Research Journal. 11. 33.
23. Ganjidoust, Hossein. (2006). Comparing the efficiency of UAFF and UASB with hybrid reactor in treating wood fiber wastewater. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering. 3.
24. Banu, Rajesh & Kaliappan, Sudalyandi. (2007). Treatment of tannery wastewater using hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor. Journal of Environmental Engineering and Science. 6.
25. Mishra, T., Ramola, S., Shankwar, A. K., Rabha, A. K., & Srivastava, R. K. (2015). Pulp and paper mill effluent treatment by hybrid anaerobic upflow fixed-bed bioreactor combined with slow sand filter. Desalination and Water Treatment, 57(23), 10528–10536.
26. Bello, M. M., Abdul Raman, A. A., & Purushothaman, M. (2017). Applications of fluidized bed reactors in wastewater treatment – A review of the major design and operational parameters. Journal of Cleaner Production, 141, 1492–1514.
27. Jeris, J. S. (1983). Industrial Wastewater Treatment Using Anaerobic Fluidized Bed Reactors. Water Science and Technology, 15(8-9), 169–176.
28. Janning, K.F. (1998). Hydrolysis and oxidation of particulate organic matter in biofilters Ph.D. thesis, Technical University of Denmark.
29. Drury, W.J., Stewart, P.S. and Characklis, W.G. (1993). Transport of 1- μ m Latex-Particles in PseudomonasAeruginosa Biofilms. Biotech. Bioengr., 42(1), 111–117.
30. Morgenroth, E., Kommedal, R., & Harremoës, P. (2002). Processes and modeling of hydrolysis of particulate organic matter in aerobic wastewater treatment – a review. Water Science and Technology, 45(6), 25–40.
31. Muhammad, M. H., Idris, A. L., Fan, X., Guo, Y., Yu, Y., Jin, X., ... Huang, T. (2020). Beyond Risk: Bacterial Biofilms and Their Regulating Approaches. Frontiers in Microbiology, 11.

32. Bouabidi, Z. B., El-Naas, M. H., & Zhang, Z. (2018). Immobilization of microbial cells for the biotreatment of wastewater: A review. *Environmental Chemistry Letters*.
33. Sekaran, G.; Karthikeyan, S.; Gupta, V.K.; Boopathy, R.; Maharaja, P. Immobilization of *Bacillus* sp. in mesoporous activated carbon for degradation of sulphonated phenolic compound in wastewater. *Mater. Sci. Eng. C* 2013, 33, 735–745.
34. Ahmad, S.A.; Shamaan, N.A.; Arif, N.M.; Koon, G.B.; Shukor, M.Y.A.; Syed, M.A. Enhanced phenol degradation by *Acinetobacter* sp. strain AQ5NOL 1. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2012, 28, 347–352.
35. Chung, T.-P.; Tseng, H.-Y.; Juang, R.-S. Mass transfer effect and intermediate detection for phenol degradation in immobilized *Pseudomonas putida* systems. *Process Biochem.* 2003, 38, 1497–1507.
36. Verma A, Shalu AS, Bishnoi NR, Gupta A (2013) 'Biosorption of Cu(II) using free and immobilized biomass of *Penicillium citrinum*. *Ecol Eng Part A* 61:486–490.
37. Jaysudha S, Sampathkumar P (2014) Nutrient removal from tannery effluent by free and immobilized cells of marine microalgae *Chlorella salina*. *Int J Environ Biol* 4:21–26.
38. Díaz-Gómez, J.; Pérez-Vidal, A.; Vargas-Nuncira, D.; Usaquén-Perilla, O.; Jiménez-Daza, X.; Rodríguez, C. Start-Up Evaluation of a Full-Scale Wastewater Treatment Plant
39. Show, K.-Y., Yan, Y., Yao, H., Guo, H., Li, T., Show, D.-Y., ... Lee, D.-J. (2020). Anaerobic granulation: a review of granulation hypotheses, bioreactor designs and emerging green applications. *Bioresource Technology*, 122751.
40. Chong, S., Sen, T., Kayaalp, A., & Ang, H. (2012). The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A Stateoftheart review. *Water Research*, 34343470.
41. Bal AS, Dhagat NN. Upflow anaerobic sludge blanket reactor--a review. *Indian J Environ Health*. 2001 Apr;43(2):1-82. PMID: 12397675.
42. Debik, E., & Coskun, T. (2009). Use of the Static Granular Bed Reactor (SGBR) with anaerobic sludge to treat poultry slaughterhouse wastewater and kinetic modeling. *Bioresource Technology*, 100(11), 2777–2782.

43. Turkdogan, F. I., Park, J., Evans, E. A., & Ellis, T. G. (2013). Evaluation of Pretreatment Using UASB and SGBR Reactors for Pulp and Paper Plants Wastewater Treatment. *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(5).
44. Park, J., Oh, J. H., Lally, M. F., Hobson, K. L., & Ellis, T. G. (2009). Static Granular Bed Reactor (SGBR) Treatment of Industrial Wastewater. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2009(12), 4165–4175.
45. Debik, E., Coban, A., Kaykioglu, G., & Kayacan, B. B. (2012). SGBR Performance on the Basis of Color and COD Removal from Textile Wastewater. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 40(6), 648–651.
46. Nnaji, Chidozie. (2013). A Review of the Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Desalination and water treatment*.
47. Evans, E. A., & Ellis, T. G. (2010). Experimental Validation of the Static Granular Bed Reactor for Industrial Waste Anaerobic Treatment. *Journal of Environmental Engineering*, 136(10), 1139–1146.
48. Evans, Kristin Mach, "Fundamentals of the static granular bed reactor " (2004). *Retrospective Theses and Dissertations*. 936.
49. Ali, Arshad & Hashim, N.H & Ghazala, N. (2011). Usage of UASB Reactor to Assess Feasibility of Treatment of Paper Mill Effluent. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*. 28. 103.
50. Саблій Л.А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: Монографія. - Рівне: НУВГП, 2013. – 292 с.
51. Mainardis M, Buttazzoni M, Goi D. Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Technology for Energy Recovery: A Review on State-of-the-Art and Recent Technological Advances. *Bioengineering (Basel)*. 2020 May 10;7(2):43.
52. Wilén BM, Liébana R, Persson F, Modin O, Hermansson M. The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2018 Jun;102(12):5005-5020.
53. Lim SJ (2009) Comparisons between the UASB and the EGSB Reactor. Iowa State University

54. Fitzpatrick, J. A., Roam, G. D., and You, B. T. (1989) Anaerobic microbial aggregation and model development of a UASBR. Paper presented at a Symposium on Anaerobic Digestion, 15–18 May, 1989, Taipei, Taiwan.
55. Tay, J.-H., Show, K.-Y., Lee, D.-J., & Zhang, Z.-P. (2010). Anaerobic Granulation and Granular Sludge Reactor Systems. *Environmental Anaerobic Technology*, 113–136.
56. Foresti, E., Zaiat, M. & Vallero, M. Anaerobic Processes as the Core Technology for Sustainable Domestic Wastewater Treatment: Consolidated Applications, New Trends, Perspectives, and Challenges. *Rev Environ Sci Biotechnol* 5, 3–19 (2006).
57. Liu, Y., Xu, H.-L., Yang, S.-F., & Tay, J.-H. (2003). Mechanisms and models for anaerobic granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Water Research*, 37(3), 661–673.
58. Madoni, P. (2011). Protozoa in wastewater treatment processes: A minireview. *Italian Journal of Zoology*, 78(1), 3–11.
59. Tremblay, Y. D., Levesque, C., Segers, R. P., and Jacques, M. (2013). Method to grow *Actinobacillus pleuropneumoniae* biofilm on a biotic surface. *BMC Vet. Res.* 9:213.
60. Silva, V. O., Soares, L. O., Silva Junior, A., Mantovani, H. C., Chang, Y. F., and Moreira, M. A. (2014). Biofilm formation on biotic and abiotic surfaces in the presence of antimicrobials by *Escherichia coli* Isolates from cases of bovine mastitis. *Appl. Environ. Microbiol.* 80, 6136–6145.
61. Dang, H., and Lovell, C. R. (2016). Microbial surface colonization and biofilm development in marine environments. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 80, 91–138.
62. Flemming, H. C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Rice, S. A., and Kjelleberg, S. (2016). Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nat. Rev. Microbiol.* 14, 563–575
63. Yang, Y.W., Duan, X.Y., Jiang, J., Xu, X.Y., Tang, M.Z., 2020. Immobilization of cold-resistant mixed bacteria and its application in sequencing batch reactor wastewater treatment. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 18, 515–529.

64. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування.

65. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1981.-639 с.

66. Очистка сточных вод предприятий химико-фармацевтической промышленности С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина, С. А. Рыбаков 1985 г. — 251.

					МД ББ21.08.000 ПЗ	Арк.
						120
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

Таблиця 1. Специфікація обладнання

Позиція	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
1	2	3	4	5
ПЗ-1	Повітрозабірник, діаметр труби 300 мм, висота складає 5 м.	1		Збірний
Ф-2	Фільтр попередньої очистки повітря, ефективність очищення складає >80%	1		Збірний
В-3	Повітродувка. Продуктивність до 1000 м ³ /год. Стиснення повітря 2,5 кПа. Потужність двигуна 360 кВт.	1		Збірний
Д-4 Д-5 Д-9 Д-13 Д-16 Д-17 Д-55 Д-56	Об'ємно-ваговий дозатор для рідких речовин	8		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Д-8 Д-12	Об'ємно-ваговий дозатор для сипких речовин	2		Неірж. Сталь 12Х18Н10Т

Продовження таблиці 1

Б-6 Б-10 Б-14 Б-18	Баки для приготування розчинів реагентів з лопатевою мішалкою. Робочий об'єм 5 м ³ .	4		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Н-7 Н-11 Н-15 Н-19 Н-28 Н-29 Н-30 Н-34 Н-35 Н-39 Н-46 Н-52 Н-54	Насос відцентровий горизонтальний консольний з робочим колесом закритого типу	13		Збірний
МР-20	Механізовані решітки типу РМУ, швидкість руху води 0,8 м/с, розмір прозорів 0,016 м.	1		Збірний
П-21	Пісковловлювач. Швидкість руху течії 0,3 м/с.	1		Збірний
У-22	Усереднювач витрати і концентрацій. Об'єм – 2336 м ³ .	1		Збірний
Н-23	Насос, тиск – 0,5 МПа.	2		Збірний
С-24	Сатуратор. Об'єм споруди – 7,3 м ³ .	2		Збірний
Ф-25	Флотатор. Об'єм споруди – 7,3 м ³ .	2		Збірний

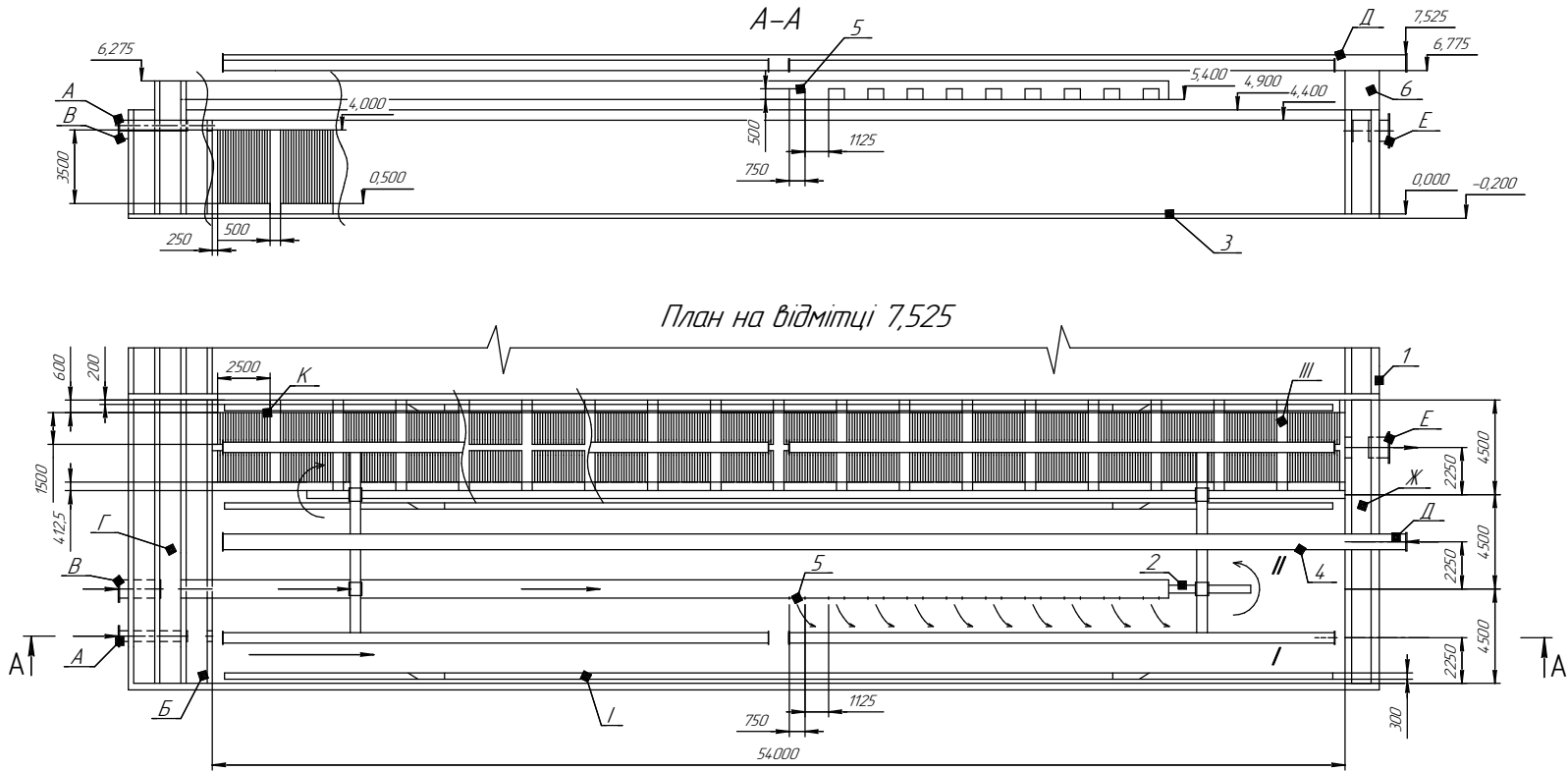
КЗ-26	Камера змішування з розчинами солей біогенних елементів. Наявність лопатевої мішалки.	1		Збірний
АБ-27	Анаеробний біореактор об'ємом 1168 м ³ . Висота – 22 м.	2		Збірний
В-31	Вторинний вертикальний відстійник, діаметром 9 м, висота конічної частини – 5,1 м, циліндричної – 3,0 м. Об'єм одного відстійника – 191 м ³ .	3		Збірний
А-32	Трьохкоридорний аеротенк-витиснювач з регенератором та 36 касетами з носіями для іммобілізації «ВІЯ», 2 секції з робочою глибиною Н = 4,4 м, шириною коридора В = 4,5 м, довжиною коридора L = 54 м. Типовий проект 902-2-179. Загальний об'єм 6415 м ³ .	1		Збірний
В-33	Третинний вертикальний відстійник, діаметром 9 м, висота конічної частини – 5,1 м, циліндричної – 3,0 м.	4		Збірний
КЗ-36	Камера змішування типу лотка Паршаля	1		Збірний
КР-37	Контактний резервуар. Об'єм – 73 м ³ .	2		Збірний

МУ-38 МУ-45	Мулоущільнювач діаметром 4 м, висота конічної частини – 1,8 м, циліндричної – 2,1 м. Об'єм – 26 м ³ .	2		Збірний
ЗБ-40	Завантажувальний бак для осаду	1		Збірний
М-41	Метантенк. Мезофільний режим – 33-35°C. Діаметр – 12,5 м, висота верхнього конуса – 1,9 м, циліндричної частини – 6,5 м, нижнього конуса – 2,15 м. Об'єм – 797 м ³ .	1		Збірний
ВБ-42	Вивантажувальний бак для осаду	1		Збірний
КД-43	Камера дегельмінтизації. Об'єм – 0,033 м ³ .	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КПО-44	Камера промивки осаду Об'єм – 0,033 м ³ .	1		Збірний
КО-47	Камера обробки осаду. Перемішувальний пристрій – лопатева мішалка. Об'єм – 0,033 м ³ .	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
ФП-48	Стрічковий фільтр-прес потужністю 3 кВт, шириною стрічок 700 мм тиском 1,2 МПа. Вологість осаду – 71-80%	1		Збірний

Продовження таблиці 1

Г-49	Газгольдер «мокрого» типу. Тиск газу під дзвоном газгольдерів - 150-400 мм вод. ст.	1		Збірний
ВБА-50	Відцентрово-барботажний апарат для очищення біогазу від домішок. Продуктивність – 500 м³/год.	1	35 кг	Збірний
ПМ-51	Пісковий майданчик для підсушування піщаної пульпи. Навантаження – 3 м³/м².	1		
АММ-53	Аварійний муловий майданчик, 20% від річної кількості осаду.	1		
КП-1.1 КП-2.1 КП-2.2 КП-24.1 КП-27.4 КП-41.3 КП-48.1 КП-49.1	Електроконтактний манометр. Розмір Приєднувального різьблення приладу: М20*1.5. Клас точності: 1,5. Діапазон вимірювання 0- 1,0 МПа. Електрична напруга 220В.	5	2,5 кг	Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КП-6.1 КП-10.1 КП-14.1 КП-18.1 КП-26.1 КП-27.1 КП-37.1	Датчик для вимірювання концентрації розчину. Вихідний сигнал - 4...20мА.	6		Неірж. сталь 12Х18Н10Т

КП-32.2	Датчик вимірювання концентрації розчиненого кисню. Діапазон вимірювання: 0,004 ... 30 мг/л; 0,05 ... 330 %SAT; 0,1 ... 700 гПа.	1		Неірж. сталь 12X18H10T
КП-27.1 КП-32.1 КП-41.2	рН-метр промисловий. Діапазон вимірювання рН – 0 ... 14. Діапазон вимірювання ЕРС електрохімічної комірки – 2900,0 мВ ... 1900,0 мВ. Діапазон вимірювання температури – 0,0°C ... 150,0°C.	4		Твердий полімерний електроліт
КП-27.3 КП-32.3 КП-41.1 КП-43.1	Датчик температури. Умовний тиск вимірюваного середовища до 10 МПа. Діапазон перетворення температури: -50 до 100°C.	5		Сталь Х23Ю5, 12X18H10T, 08X13.



Позначення	Найменування	К-ть	Примітки
A	Трубопровід рАМ від третинних відстійників	1	d = 200 мм, сталь 12Х18Н10Т
Б	Верхній канал рАМ	1	
В	Трубопровід освітленої стічної води від вторинних відстійників	1	d = 400 мм, сталь 12Х18Н10Т
Г	Верхній канал освітленої стічної води після вторинних відстійників	1	
Д	Трубопровід аераційного повітря	1	d = 500 мм, сталь 12Х18Н10Т
Е	Трубопровід очищеної стічної води та АМ на третинні відстійники	1	d = 500 мм, сталь 12Х18Н10Т
Ж	Нижній канал очищеної стічної води і АМ	1	
І	Фільтрасні пластини	3 ряди	l = 300 мм, b = 300 мм
К	Касети з носіями	90	матеріал волокан – капрон, l = 2500 мм, b = 1500 мм, h = 3500 мм

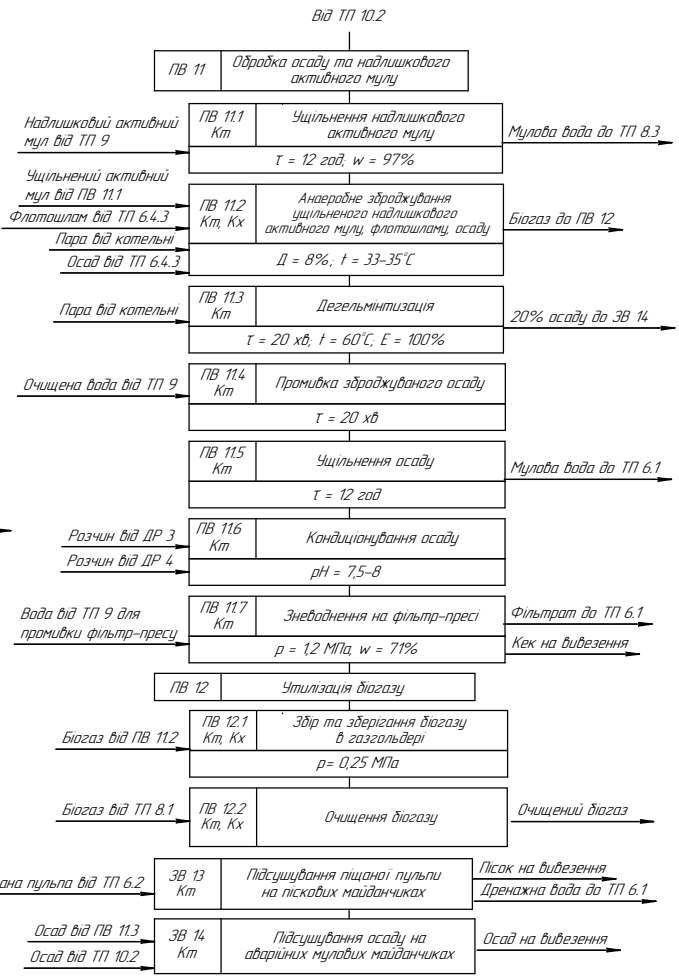
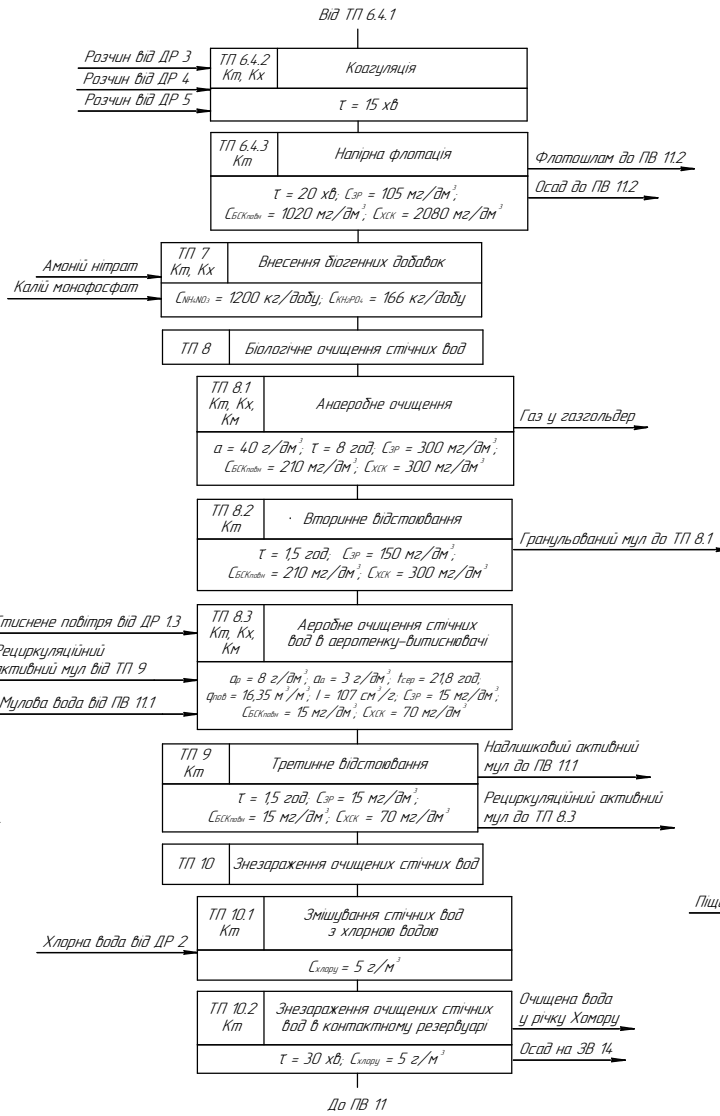
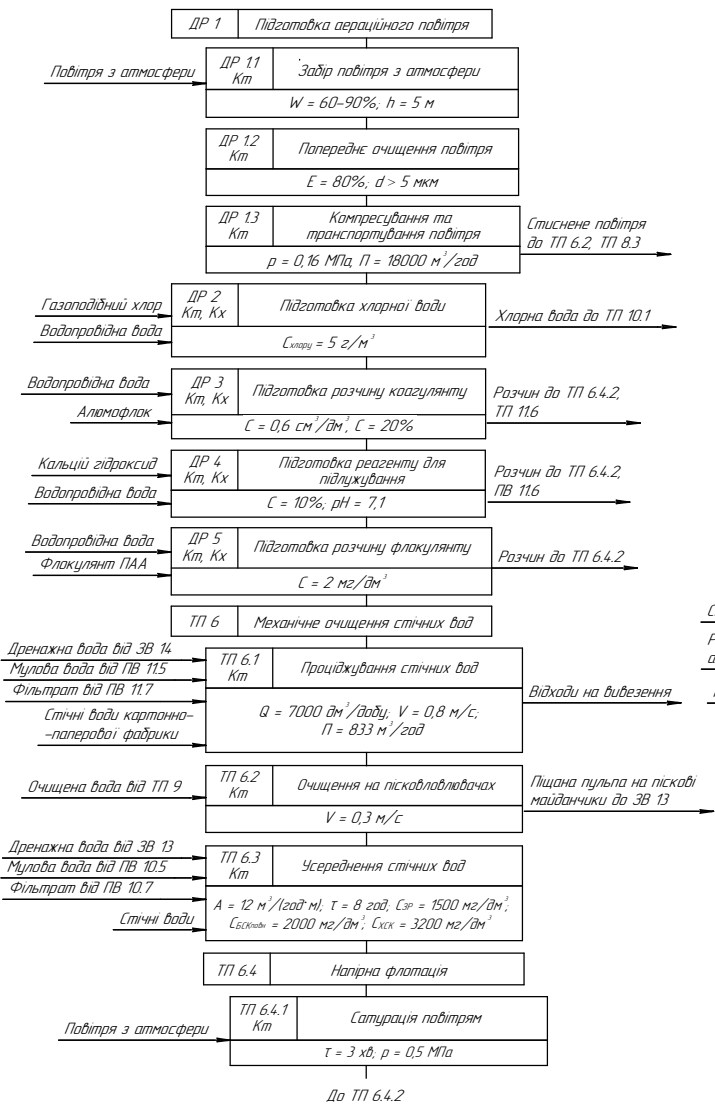
Поз.	Позначення	Найменування	К-ть	Од. вим.
		Складальні одиниці		
1	ДБН В.2.5-75-2013	Стінова панель	4	шт.
2		Панель перегородок	2	шт.
3		Суцільне днище	1	шт.
4		Повітропровід	1	шт.
5		Переливні вікна	10	шт.
6		Опора повітропровода	1	шт.

Примітки: 1. Розміри на плані вказані в міліметрах, а відмітки в метрах.
2. Касети з носіями для іммобілізації розташовані у першому коридорі від місця надходження стічної води, у другому та третьому коридорах.
3. Касети з носіями для іммобілізації є однаковими за розміром.
4. Переливні вікна є однаковими за розміром.
5. В таблицях наведено дані на одну секцію аеротенк-витиснювача.

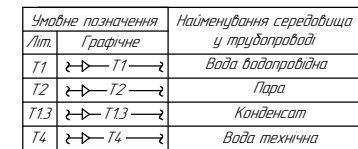
Технічна характеристика

1. Об'єм споруди	64,15 м ³
2. Кількість коридорів в одній секції	3
3. Кількість секцій	2
4. Об'єм однієї секції	3207,5 м ³
5. Габаритні розміри	
- довжина коридору	54 м
- глибина коридору	4,4 м
- ширина коридору	4,5 м
6. Номер типового проєкту	ТП 902-2-179

МД 552108.000 А					
Зм.	Арх.	№ докум.	Підп.	Віда	
Розроб.	Коваленко Г.Е.				
Перевір.	Савиць Л.А.				
Технік.					
Начальн.					
Затверд.	Савиць Л.А.				
Аеротенк-витиснювач					
Лит.					
Маса					
Масштаб					
1:125					
Розріз А-А, план загального виду					
Копія					
Формат А1					



					МД 552108.001 ТС						
Зм.	Арх.	№ докум.	Підп.	Дато	Технологічна схема відстоювання осаду та надлишкового активного мулу з картонно-паперової фабрики в Хмельницькій області				Лист	Маса	Масштаб
Григор'єв	Кабаленко	Г.Б.									δ/м
Лавренчук	Савицький	Л.А.							Архив	І	
Ткачук									Технологічна схема		
Н.Контар	Забудівський	Савицький	Л.А.						КПІ ім. Ізяслава Святославського ФБТ, КББЕ		
					Копія			Формат А1			



						МД 6621.08.004 TE		
						Лист	Масса	Масштаб
Экз. Арк.	№ докум.	Подп.	Дата	Техническое исполнительное авторско-проектное ведомство описания станций вод карьерно- лазерного разбора в Хмельницкой области				В/М
Разработ	Кобальков Г.Е.							1
Перевёрт	Перевёрт АН							
Г. изобрет.				Архив		Архив		
Начальн				Технико-экономические показатели экономич. станций				КП И Изд. Сваржского ФБТ, КББ
Г. изобрет.	Перевёрт АН							