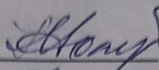


НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

«На правах рукопису»
УДК 606:628

До захисту допущено:
Завідувач кафедри

 Наталія ГОЛУБ
«02» грудня 2022 р.

Магістерська дисертація

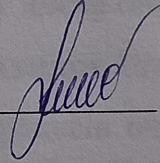
на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»

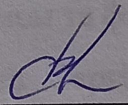
зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

на тему: «Дослідження процесів очищення стічних вод міста Рівне інтегрованою системою з активним мулом та фіксованою біоплівкою»

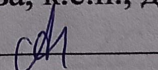
Виконав:
студент 2 курсу, групи ББ-з11мп
Грицина Олександр Олексійович



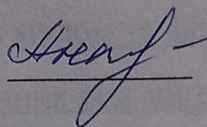
Науковий керівник:
Доцент, к.т.н., доцент
Жукова Вероніка Сергіївна

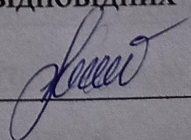


Консультант з розділу: економічна частина
Доц. каф. економіки і підприємництва, к.е.н., доц.
Погребняк Анна Юріївна



Рецензент:
Доцент НУВГП, к.т.н., доцент
Антонюк Марія Миколаївна



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

Київ – 2022 року

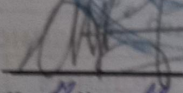
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

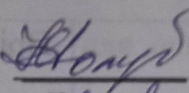
Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Біотехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Технічний директор
ТОВ «Побі Вотер Інжиніринг»


Олександр ПОЛЩУК
« 13 » 12 2022 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри


Наталія ГОЛУБ
« 08 » вересня 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Грицині Олександрю Олексійовичу



1. Тема дисертації «Дослідження процесів очищення стічних вод міста Рівне інтегрованою системою з активним мулом та фіксованою біоплівкою», науковий керівник дисертації Жукова Вероніка Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від « 21 » 11 2022 р. № 4289с
2. Термін подання студентом дисертації 16 грудня 2022р.
3. Об'єкт дослідження: процес біологічного очищення стічних вод міста Рівне інтегрованою системою з активним мулом та фіксованою біоплівкою.
4. Вихідні дані: характеристика стічних вод міста Рівне
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) виконати літературний огляд за темою дисертації, проаналізувати біоплівкові реактори з рухомими носіями та ефективність біореакторів з активним мулом та біоплівкою на рухомих носіях; 2) розробити дослідну установку, що містить реактори з інтегрованою системою активного мулу та фіксованою біоплівкою; 3) провести дослідження

ефективності розробленого біореактора на стічних водах міста Рівне, оціни ефективність біореактора за органічними речовинами та концентрацією амонійного азоту; 4) оцінити динаміку росту біоплівки на носіях в процесі очищення на дослідній установці та біоценоз активного мулу; 5) розробити стартап-проект; 6) розробити заходи з охорони праці та навколишнього середовища.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: аналіз біореакторів, дослідна установка, методика досліджень, результати досліджень, стартап-проект.

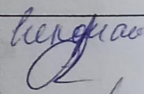




7. Орієнтовний перелік публікацій: заплановано написання тез за темою «Інноваційні біотехнології очищення стічних вод».

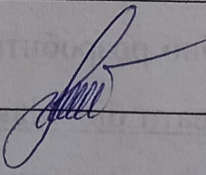
8. Консультанти розділів дисертації

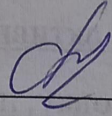
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Погребняк А.Ю., доцент		

9. Дата видачі завдання 01.09.2022р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури відповідно до теми магістерської дисертації	01.09.2022-20.09.2022	
2	Конструювання дослідної установки	21.09.2022-01.10.2022	
3	Дослідження процесів очищення стічних вод	02.10.2022-09.11.2022	
4	Опрацювання результатів досліджень	10.11.2022-19.11.2022	
5	Розроблення стартап-проекту	20.11.2022-07.12.2022	

Студент  Олександр ГРИЦИНА

Науковий керівник  Вероніка ЖУКОВА

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 98 с., 28 табл., 18 рис., 116 джерел

Внутрішня та зовнішня міграція вносять суттєві корективи у роботу каналізаційних очисних споруд. Потреба підприємств, що надають послуги з очищення стічних вод в швидкій модернізації каналізаційних очисних споруд з мінімальними фінансовими видатками стає нагальною. Оперативно реагувати на ці виклики дозволяють інтегровані системи, що поєднують в собі переваги тих систем, що лягли в їх основу. Встановлення раціональних параметрів таких технологій у виробничих умовах є актуальним.

Мета роботи: визначити біотехнологічні параметри інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод міста Рівне. Для досягнення мети було поставлено нижченаведені **завдання:**

- ✓ провести аналіз інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод об'єднаних територіальних громад;
- ✓ розробити методологію досліджень та принцип роботи дослідної установки для процесу очищення стічних вод та культивування мікроорганізмів;
- ✓ визначити ефективність та оптимальні параметри біотехнологічного процесу біореактора з активним мулом та біоплівкою на реальних міських стічних водах;
- ✓ отримати дані про динаміку зростання біоплівки на носії в період очищення стічних вод при зміні технологічних параметрів установки;
- ✓ розробити стартап-проект на основі інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод.

Об'єкт дослідження - процес біологічного очищення стічних вод міста Рівне інтегрованою системою з активним мулом та фіксованою біоплівкою.

Предмет дослідження - науково-технологічні основи та раціональні параметри технології очищення стічних вод міста інтегрованою системою з активним мулом та фіксованою біоплівкою.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань був використаний комплекс сучасних методів. При проведенні експериментів були

застосовані методи пасивного й активного експерименту з наступною обробкою за допомогою програмного забезпечення. Експериментальні дослідження виконані у виробничих умовах з використанням реальних стічних вод міста Рівне. Концентрацію амонійного азоту, активного мулу, розчиненого кисню, біологічного споживання кисню, завислих речовин та рН визначали за затвердженими стандартними методиками.

Наукова новизна одержаних результатів:

✓ визначено зростання маси біоплівки на носіях при культивуванні на реальних стічних вод для інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою при очищенні стічних вод за температури 12-20 °С та частці заповнення середовища носіями 18% та при цьому забезпечивши ефект очищення за показниками БСК₅ 90,1-97,8%, амонійного азоту 95,9-99,7%.

Практичне значення одержаних результатів:

✓ розроблена конструкція експериментальної установки продуктивністю 6-10 м³/добу може бути використана для очищення міських стічних вод і забезпечити ефект очищення за БСК₅ більше 90%, амонійного азоту більше 95%.

✓ на носіях у кількості 100 штук за період досліджень (21 день) було культивовано 0,518 г біоплівки за сухою речовиною;

✓ отримані дані та досвід є цінними для проектування споруд з використанням інтегрованих систем з активним мулом та фіксованою біоплівкою в Україні;

✓ результати роботи впроваджені під час виробничої діяльності ТОВ «Побі Вотер Інжиніринг».

Апробація результатів дисертації. Результати, які включені до дисертації, оприлюднені та опубліковані в збірку конференції:

Oleksandr Hrytsyna et al. "Biogoal" - wastewater treatment innovative technology for “zero energy” buildings. Proceedings of the 4 International Scientific-Practical Conference water supply and wastewater disposal: designing, construction, operation and monitoring. Lviv. – 2021. p.69.

СТІЧНІ ВОДИ, АКТИВНИЙ МУЛ, БІОПЛІВКА, НОСІЙ, ДОСЛІДНА УСТАНОВКА

ABSTRACT

Master's thesis: 98 p., 28 tabl., 18 fig., 116 ref.

Internal and external migration brings significant changes to wastewater treatment plants. The need for companies providing wastewater treatment services to rapidly upgrade wastewater treatment plants with minimal financial outlay is becoming urgent. Integrated systems that combine the advantages of the systems on which they are based allow rapid responses to these challenges. The establishment of rational parameters of such technologies in production conditions is relevant.

Purpose of work: to determine the biotechnological parameters of the integrated system with activated sludge and fixed biofilm for wastewater treatment in the city of Rivne. To achieve the objective, the following **tasks** were set:

- ✓ to analyze an integrated system with activated sludge and fixed biofilm for wastewater treatment of incorporated territorial communities;
- ✓ to develop research methodology and principle of pilot plant operation for wastewater treatment process and microorganisms cultivation
- ✓ determine efficiency and optimum parameters of biotechnological process of bioreactor with activated sludge and biofilm on real municipal wastewater
- ✓ to obtain data on the dynamics of biofilm growth on the carrier during the period of wastewater treatment when changing technological parameters of the plant;
- ✓ to develop a start-up project based on an integrated system with activated sludge and fixed biofilm for wastewater treatment.

The object of the study is the process of biological treatment of wastewater of the city of Rivne with an integrated system with activated sludge and fixed biofilm.

Subject of study - scientific and technological bases and rational parameters of technology of wastewater treatment by an integrated system with activated sludge and fixed biofilm.

Research methods. To solve the tasks a set of modern methods has been used. In carrying out the experiments the methods of passive and active experiment with the subsequent processing by means of software have been applied. Experimental studies were carried out under industrial conditions using real wastewater of the city of Rivne.

Concentration of nitrate nitrogen, activated sludge, dissolved oxygen, biological oxygen demand, suspended solids and pH were determined by the approved standard methods.

Scientific novelty of the obtained results: The growth of biofilm mass on media during cultivation on real wastewater for integrated system with activated sludge and fixed biofilm at wastewater treatment at 12-20 °C and media filling fraction of 18% and providing treatment effect of BOD5 90,1-97,8%, ammonia nitrogen 95,9-99,7%.

Practical significance of the obtained results:

✓ the developed design of the experimental unit with a capacity of 6-10 m³/day can be used for municipal wastewater treatment and provide the treatment effect of BOD5 over 90%, ammonia nitrogen over 95%.

✓ 0.518 grams of biofilm were cultured on 100 media during the study period (21 days) in terms of dry matter;

✓ the data and experience obtained are valuable for the design of structures using integrated systems with activated sludge and fixed biofilm in Ukraine;

✓ results of work have been implemented in production activity of "Poby Water Engineering" Ltd.

Approbation of dissertation results. The results included in the dissertation have been made public and published in the conference proceedings:

Oleksandr Hrytsyna et al. "Biogoal" - an innovative wastewater treatment technology for "zero energy" buildings. Materials of the 4th International Scientific and Practical Conference on Water Supply and Sanitation: Design, Construction, Operation and Monitoring. Lviv - 2021. p.69.

WASTEWATER, ACTIVATED SLUDGE, BIOFILM, CARRIER, PILOT PLANT

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП	11
1 АНАЛІЗ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АКТИВНОГО МУЛУ З ФІКСОВАНОЮ БІОПЛІВКОЮ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ.	14
1.1 Цілі сталого розвитку України та питання очищення стічних вод.....	14
1.2 Аналіз біоплівкових реакторів з рухомим шаром	16
1.3 Аналіз ефективності біореакторів інтегрованого активного мулу з фіксованою плівкою для очищення стічних вод населених пунктів.....	22
1.4 Мета та задачі досліджень інтегрованої системи активного мулу з фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод населених пунктів	32
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ З АКТИВНИМ МУЛОМ ТА ФІКСОВАНОЮ БІОПЛІВКОЮ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	33
2.1 Матеріали досліджень інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод	33
2.2 Методика та методи досліджень інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод.....	38
2.3 Принцип роботи дослідної установки	43
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ З АКТИВНИМ МУЛОМ ТА ФІКСОВАНОЮ БІОПЛІВКОЮ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ	45
3.1 Результати дослідження інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою при очищенні стічних вод міста Рівне	45
3.2 Динаміка росту біоплівки на носіях та оцінка біоценозу активного мулу	49
3.3 Висновки отриманих результатів досліджень	52
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	54
4.1 Резюме	54
4.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу	57
4.3 Визначення ключових факторів успіху проекту.....	60
4.4 Визначення потенційних споживачів	62

4.5 Ціна інноваційної пропозиції на ринку	65
4.6 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів	71
4.7 Ризики стартап-проекту та методи управління ними.....	73
5 Охорона праці та навколишнього середовища	77
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АнаОБ	–	анаеробні аміакоокиснювальні бактерії
АОБ	–	аміакоокиснювальні бактерії
БВА	–	біологічне видалення азоту
БРРЗ	–	біоплівковий реактор з рухомим завантаженням
БСК	–	біологічне споживання кисню
ЗР	–	завислі речовини
ЗРМП	–	завислі речовини у муловому потоці
ІАМФП	–	інтегрований активний мул з фіксованою плівкою
КОС	–	каналізаційні очисні споруди
КРК	–	концентрація розчиненого кисню
НАМ	–	надлишковий активний мул
НОБ	–	нітритоокиснювальні бактерії
ППР	–	позаклітинні полімерні речовини
САМ	–	система активного мулу
СПАР	–	синтетичні поверхнево активні речовини
ХСК	–	хімічне споживання кисню
ЧГУ	–	час гідравлічного утримання
ЧПМ	–	час перебування мулу (вік мулу)

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема якісного відведення стічних вод характерна для 40% українських домогосподарств, згідно з дослідженням швейцарсько-українського проекту DESPRO [1]. Локальні очисні споруди є вирішенням цієї проблеми, оскільки вони очищають воду відносно невеликої кількості та розташовані поблизу споживачів.

Традиційні системи очищення стічних вод вільноплаваючим активним мулом потребують щоденного технологічного контролю відповідним фахівцем та можуть бути менш ефективними при високій нерівномірності надходження стічних вод, що характерне для локальних очисних споруд об'єднаних територіальних громад. На допомогу в такому випадку можуть прийти системи із прикріпленими чи іммобілізованими мікроорганізмами на відповідних носіях.

В світовій практиці розроблені певні рішення з використанням інтегрованих систем очищення стічних вод на базі вільноплаваючого активного мулу та мікроорганізмів на носіях, які в цілому являють ефективний комплекс рішень для випадків високої нерівномірності надходження стічних вод. Назріла потреба дослідити такі системи для випадку перманентних змін концентрацій та витрат стічних вод об'єднаних територіальних громад України та надати науковій пропозиції, щодо практичної реалізації таких інтегрованих систем.

Мета роботи: визначити біотехнологічні параметри інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод міста Рівне.

Для досягнення мети було поставлено нижченаведені **завдання:**

- ✓ провести аналіз інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод об'єднаних територіальних громад;
- ✓ розробити методологію досліджень та принцип роботи дослідної установки для процесу очищення стічних вод та культивування мікроорганізмів;
- ✓ визначити ефективність та оптимальні параметри біотехнологічного процесу біореактора з активним мулом та біоплівкою на реальних міських стічних водах;

✓ отримати дані про динаміку зростання біоплівки на носії в період очищення стічних вод при зміні технологічних параметрів установки;

✓ розробити стартап-проект на основі інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод.

Об'єкт дослідження - процес біологічного очищення стічних вод міста Рівне інтегрованою системою з активним мулом та фіксованою біоплівкою.

Предмет дослідження - науково-технологічні основи та раціональні параметри технології очищення стічних вод міста інтегрованою системою з активним мулом та фіксованою біоплівкою.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань був використаний комплекс сучасних методів. При проведенні експериментів були застосовані методи пасивного й активного експерименту з наступною обробкою за допомогою програмного забезпечення. Експериментальні дослідження виконані у виробничих умовах з використанням реальних стічних вод міста Рівне. Концентрацію амонійного азоту, активного мулу, розчиненого кисню, біологічного споживання кисню, завислих речовин та рН визначали за затвердженими стандартними методиками.

Наукова новизна одержаних результатів:

✓ визначено зростання маси біоплівки на носіях при культивуванні на реальних стічних вод для інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою при очищенні стічних вод за температури 12-20 °С та частці заповнення середовища носіями 18% та при цьому забезпечивши ефект очищення за показниками БСК₅ 90,1-97,8%, амонійного азоту 95,9-99,7%.

Практичне значення одержаних результатів:

✓ розроблена конструкція експериментальної установки продуктивністю 6-10 м³/добу може бути використана для очищення міських стічних вод і забезпечити ефект очищення за БСК₅ більше 90%, амонійного азоту більше 95%.

✓ на носіях у кількості 100 штук за період досліджень (21 день) було культивовано 0,518 г біоплівки за сухою речовиною;

✓ отримані дані та досвід є цінними для проектування споруд з використанням інтегрованих систем з активним мулом та фіксованою біоплівкою в Україні;

✓ результати роботи впроваджені під час виробничої діяльності ТОВ «Побі Вотер Інжиніринг».

Апробація результатів дисертації. Результати, які включені до дисертації, оприлюднені та опубліковані в збірку конференції:

Oleksandr Hrytsyna et al. "Biogoal" - wastewater treatment innovative technology for “zero energy” buildings. Proceedings of the 4 International Scientific-Practical Conference water supply and wastewater disposal: designing, construction, operation and monitoring. Lviv. – 2021. p.69.

1 АНАЛІЗ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АКТИВНОГО МУЛУ З ФІКСОВАНОЮ БІОПЛІВКОЮ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

1.1 Цілі сталого розвитку України та питання очищення стічних вод

Згідно з національною доповіддю "Цілі сталого розвитку: Україна" [2], Україна поставила перед собою завдання №6 "Чиста вода та належні санітарні умови". Зокрема, завдання 6.2 "Забезпечити доступність сучасних систем водовідведення, будівництво та реконструкцію водозабірних та каналізаційних очисних споруд із застосуванням новітніх технологій та обладнання" передбачає, що у 2030 році відсоток сільського населення, що має доступ до покращених санітарних умов, становитиме 80% (2015 рік – 1,9%), відсоток міського населення, що має доступ до централізованих систем водовідведення, – 100% (2015 рік – 87,1%). Ця мета підтримана державою у законі "Про основні засади (стратегії) державної екологічної політики України до 2030 року" та в інших нормативно-правових актах України.

Вказані аргументи призведуть до активізації розробки проектів з будівництва/реконструкції централізованих систем водовідведення та каналізаційних очисних споруд. Крім того, зобов'язання, прийняті Україною, включають використання новітніх технологій та обладнання для досягнення поставлених цілей при реалізації Водної рамкової директиви ЄС 2000/60, Директиви ЄС 86/278, Директиви 75/442/EWG, Директиви 91/271/ЄЕС з очищення стічних вод та Водного кодексу України.

Житлові будинки та котеджні містечка будуються набагато швидше, ніж централізовані очисні споруди. Існуючі мережі не можуть пропускати додаткове водовідведення від нових споживачів. Потрібні локальні рішення. Для вирішення проблеми потрібна розробка компактних локальних очисних споруд із високою ефективністю. Очисні споруди повинні забезпечувати традиційне вторинне очищення (видалення БСК та завислих речовин) та третинне очищення

(видалення біогенних речовин).

Таким чином назріла нагальна потреба в реалізації принципово нових технологій, які б в умовах перманентних змін витрати та концентрації забруднень дозволили задовільнити вимоги щодо якості очищення стічних вод населених пунктів. Цінним в цьому плані буде досвід інших країн, які вже тривалий час мають проблему коливань кількості споживачів води внаслідок міграційних процесів. При цьому внутрішня та зовнішня міграція може привести, як до швидкого росту кількості населення, що здійснюють водовідведення до каналізаційних очисних споруд, так і різкого зменшення цієї кількості. На жаль Україна під час війни отримує досвід цих двох негативних явищ. З однієї сторони різке зменшення кількості споживачів у прифронтових зонах, а з іншої сторони різке збільшення кількості споживачів у відносно спокійних регіонах. Вказані переміщення населення впливають на умови експлуатації каналізаційних очисних споруд, і ставлять перед інженерами з водних біотехнологій важливі та актуальні задачі. Зокрема яким чином в таких випадках забезпечити необхідні показники якості очищених стічних вод та стабільну роботу споруд.

На мій погляд, одним з рішень даної проблеми може бути модернізація діючих очисних споруд за допомогою використання біотехнології плівкових реакторів. Біоплівкові реактори - це технологічна схема роботи реактора з використанням іммобілізованих мікроорганізмів на носіях. Носії можуть бути динамічними - вільноплаваючі в товщі стічних вод і стаціонарно закріпленими в реакторі (зафіксованими).

Для дослідження та впровадження цих технологій та їх модифікацій таких як інтегрованої системи активного мулу з фіксованою плівкою (ІАМФП) виконаємо літературний огляд, щодо основних характеристик процесів, умов їх проведення та отриманих результатів.

1.2 Аналіз біоплівкових реакторів з рухомих шаром

Біоплівкові реактори зазвичай використовуються як споруди біологічного очищення стічних вод від органічних речовин, сполук азоту та фосфору. Одним з перших відомих конструктивних рішень влаштування біоплівкового реактору є біологічний фільтр. Біологічний фільтр – це споруда, в якій біологічна очистка відбувається при протіканні стічних вод через шар завантаження, поверхня якого вкрита біоплівкою з колоній аеробних мікроорганізмів [3]. За способом контакту біоплівки із стічними водами розрізняють: біофільтри, що зрошуються стічними водами та біофільтри, що занурюються в стічні води [3].

Відомі конструкції біоплівкових реакторів зокрема: краплинні та високонавантажувані біофільтри, дискові біофільтри, біофільтри з зрідженим шаром тощо. До недоліків наведених біофільтрів відносять: відсутність ефективного робочого об'єму (краплинний біофільтр); чутливість до механічних пошкоджень (дисковий біофільтр); часта гідравлічна нестабільність (біофільтри з зрідженим шаром); труднощі розподілу біоплівки на носії через градієнти концентрацій [4]; дифузійні обмеження через поганий масообмін, що призводить до зниження швидкості реакції [5].

Біоплівковий реактор з рухомих завантаженням (БРРЗ) був винайдений у Норвегії наприкінці 80-х років, коли основна увага приділялася видаленню азоту, що викликав евтрофікацію Північного моря [6]. Розроблений реактор отримав Європейський патент № 0,575,314 та патент США № 5,458,779. Основною метою було задоволення потреби у каналізаційних очисних станціях, які легко монтувати та експлуатувати для невеликих населених пунктів (20-200 осіб). Це ще раз підкреслює перспективність даної технології в рамках досягнення цілей сталого розвитку України та збільшення кількості населених пунктів, що безпечно очищають стічні води [1].

Таким чином біоплівкові реактори отримали новий етап розвитку. Ідея вільноплаваючих рухомих носіїв дозволила вирішити певні недоліки існуючих біоплівкових реакторів і отримала значний імпульс при модернізації споруд та питань надійності технологій на основі біоплівки.

Серед переваг технології біоплівки на рухомому завантаженні порівняно з іншими технологіями на основі біоплівки та традиційними системами з активним мулом можна виділити:

- стійкість біоплівки до зміни характеристики стічних вод (рН, температури, токсичних сполук, раптових навантажень) [7];
- стає зменшення впливу на навколишнє середовище;
- порівняно з біореакторами з фіксованим завантаженням менше засмічення і відсутність необхідності промивання [5];
- біомаса утримується у вигляді біоплівки на носіях, що зменшує витрати на рециркуляцію порівняно з системи на активному мулі;
- підвищення продуктивності та об'ємного гідравлічного навантаження діючих очисних споруд з мінімальними додатковими витратами [5];
- компактність біореакторів, займаючи мінімально можливий фізичний простір;
- зниження вартості біоносіїв, що знижує вартість технології загалом.

У 2014 році понад 1200 очисних споруд у щонайменше 50 країнах світу використовували технологію БРРЗ [8].

Досвід експлуатації продемонстрував ряд недоліків технології БРРЗ:

- високі енергетичні витрати через аерацію, яка в основному необхідна для перемішування біоносіїв, і в меншій мірі для забезпечення потреб у кисні біохімічних процесів [9];
- утворення застійних зон в реакторах, як наслідок помилок при проектуванні гідродинамічних умов. Вплив застійних зон на загальну продуктивність реактора, ще не доведено і не повністю досліджено [10];
- при роботі з високими показниками органічного навантаження біоносії можуть засмічуватися через надмірний та/або неконтрольований ріст біоплівки [11];
- закупорювання пор біоносіїв внаслідок росту біоплівки та її старіння, що зменшує фактичну активну площу біоносія та обмежує масоперенос [5].

Внутрішня та зовнішня міграція населення приводять до зміни кількості та якості стічних вод, що потребують очищення. Одним з ефективних способів

реагування на ці виклики є модернізація діючих очисних споруд. Проте за критерій модернізації часто ставиться мінімізація витрат на її проведення. Використання біоплівкових технологій дозволяє здійснювати гнучке реагування на зміни кількості та якості стічних вод, що очищуються. У 2006 році в роботі Рустена та ін. [4], присвяченій проектуванню та експлуатації біоплівкових реакторів з рухомим шаром Калднес, повідомлялося, що технологія БРРЗ є "комерційно успішною" з більш ніж 400 великомасштабними установками для очищення стічних вод у 22 різних країнах по всьому світу.

Комерційна привабливість біотехнології стимулювала розроблення різних конструкцій біоносіїв для вирішення питань очищення стічних вод від тих чи інших забруднювачів. В таблиці 1 наведені типи біоносіїв, що відрізняються за розміром, формою та матеріалом.

Першими біоносіями, що використовувалися в системах БРРЗ були AnoxKaldnes™ серії К (таблиця 1.1). Ці біоносії виготовлені з поліетилену щільністю $0,95 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ [12]. Біоносії серії К відрізняються розмірами (діаметр і висота), площею поверхні доступною для розвитку біоплівки, різними перерізами (тобто отворами), бортиками на носії.

Ефективна площа поверхні, що доступна – це захищена частина всього біоносія, яка не контактує з іншими біоносіями під час перемішування. Залежно від умов проведення процесу, наприклад аеробного чи аноксидно-анаеробного, підбирається відповідний тип біоносіїв. Наприклад, ідеальний біоносій для швидкозростаючої аеробної гетеротрофної біоплівки повинен мати більш широкі отвори, щоб уникнути втрати ефективною площі поверхні, викликані засміченням.

На противагу цьому, повільно зростаючі автотрофні біоплівки (наприклад, в процесах нітрифікації та аанаммоксу) виграють від менших отворів і більшої площі поверхні, як у BiofilmChips і, зокрема, нещодавно розроблених біоносіях типу Z (таблиця 1.1). Таким чином, доступна площа поверхні ($\text{м}^2\cdot\text{м}^{-3}$) збільшується, що дозволяє контролювати товщину біоплівки і, отже, зберігати переважно працездатну біоплівку, що призводить до більшої швидкості масопереносу [13].

Основні характеристики AnoxKaldnes™ [7, 4]

Тип	Площа поверхні, (м ² ·м ⁻³)	Номинальний діаметр, мм	Номинальна висота, мм	Зовнішній вигляд
K1	500	7,1	7,2	
K2	350	15	15	-
K3	500	25	10	
K5	800	25	3,5	
C2	220	36	30	-
F3	200	46	37	
BiofilmChip M	1200	48	2,2	
BiofilmChip P	900	45	3,0	
Z-200	-	30	-	
Z-400	-	30	-	

Оптимізація наявних обмежень масообміну була досягнута за рахунок реалізації ідеї мати замість отворів плоску сітку визначеної висоти. Таким чином, біоплівка буде розвиватися в різних "чарунках" до певної товщини (наприклад, 200 мкм в Z-200), що контролюється зіткненням між біоносіями шляхом перемішування. Отже, можна уникнути утворення товстої старої біоплівки, що сприятиме її оновленню в процесах, де товста біоплівка не є бажаною. Інші типи біоносіїв та виробники представлені в таблиці 1.2.

Характеристика пластикових носіїв, представлених на ринку [5]

Виробник, назва біоносія	Площа поверхні, (м ² ·м ⁻³)	Виробник, назва біоносія	Площа поверхні, (м ² ·м ⁻³)	Виробник, назва біоносія	Площа поверхні, (м ² ·м ⁻³)
Headworks AC450	402	EVOQUA CM- 10DTM	750	Warden Biomedica Biomarble	310
Headworks AC515	485	Bioprocess H2O BioFASTM B-460	402	Warden Biomedica Biopipe	600
Headworks AC920	680	Bioprocess H2O BioFASTM B-585	515	Warden Biomedica Bioflo+	800
AqWise	650	P.E.W.E. ASOTM	650	Warden Biomedica Biotube	1000
Nexom Biopetz	589	Warden Biomedica Biofill	135	BCN 040	340
Biowater Technology BWT 15	828	Warden Biomedica Bioball	220	BCN 060	229
Biowater Technology BWT X	650	Biowater Technology BWT S	650	BCP 175	175

Біоплівка є складною гетерогенною мікроекосистемою взаємодії мікробних спільнот, що поділяють одне середовище [14]. Формування біоплівки відбувається в декілька етапів, починаючи з адсорбції макромолекул та поживних речовин на поверхні, початкового транспорту клітин, адгезії та незворотного прикріплення [15]. Таким чином, колонізація та ріст біоплівки перетворюються на зрілу структуру шляхом формування мікроколоній та виробництва позаклітинних полімерних речовин (ППР) [5]. Нарешті, біоплівка досягне напівстаціонарного стану рівноваги між її ростом і відшаруванням. Відшарування біомаси від зрілої структури біоплівки відбувається паралельно з

ростом біоплівки різними шляхами: I) стирання при зіткненні носіїв; II) ерозія під дією сил зсуву об'ємну рідини; III) відшарування або випадання сегментів біоплівки з носіїв; IV) вплив найпростіших та ін. [16].

Формування біоплівки на поверхні залежить від природних процесів прикріплення клітин, продукування ППР, що призводить до розвитку зрілої біоплівки, та формує динаміку росту біоплівки [14]. Таким чином, мікроорганізми структурно пов'язані з клітинними продуктами, присутніми в іммобілізуєчому матриксі, утвореному ППР. Позаклітинні полімерні речовини спонтанно перетворюються на щільні агрегати, здатні прилипати до поверхні, наприклад, біоносіїв [17]. Біоплівка в свою чергу забезпечує мікроорганізмам захисне середовище від шкідливих агентів, таких як резистентні та інгібіторні сполуки [5]. Дезотті та ін. [7] показали потенціал ППЗ для захисту мікроорганізмів від зневоднення, а також захисту від хижаків, таких як найпростіші.

На рисунку 1.1А показана схема дифузії основних компонентів через біоплівку (наприклад, поживних речовин, кисню та органічних речовин) у гетеротрофній біоплівці. Ці компоненти адсорбуються і зберігаються на поверхні біоплівки, в якій ППР присутні у вільно зв'язаній формі. Відбувається гідроліз і дифузія розчинених речовин через рідку частину і нещільну біоплівку, забезпечуючи щільну біоплівку основними сполуками, необхідними для росту і життєво важливого метаболізму. Кінцеві продукти, таким чином, вивільняються з щільної в більш слабо зв'язану біоплівку і, отже, вивільняються в рідку фазу. Висока напруженість зсуву за рахунок перемішування та/або аерації за межами гідродинамічного прикордонного шару (зона біоплівки, в якій швидкість потоку на межі розділу біомаса-рідина є незначною) сприяє: I) більш стабільній та міцній біоплівці зі збільшенням виробництва ППР [18]; II) більш компактній біоплівці з вищою щільністю [19]; III) більш тонкій біоплівці через розмивання біоносіїв та сили зсуву, що призводять до розшарування біоплівки [20].

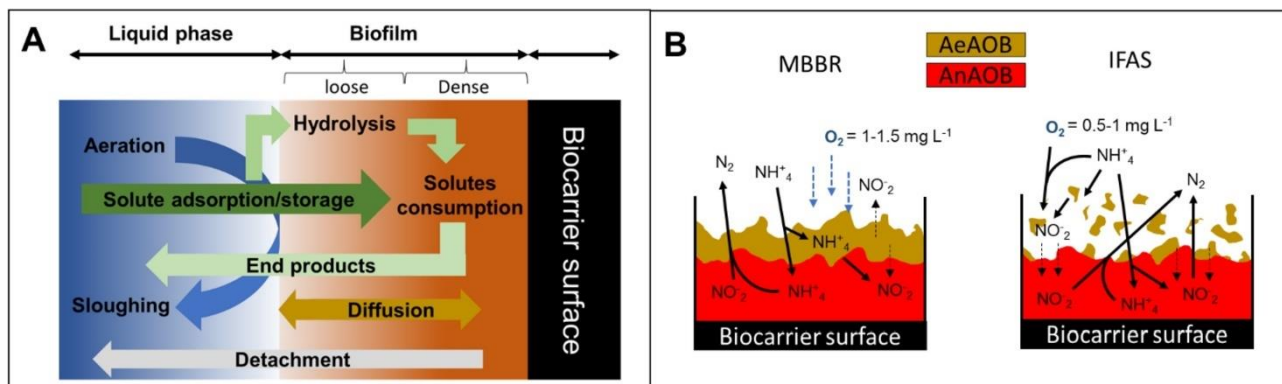


Рисунок 1.1. – Зображення механізму транспорту в анаеробних гетеротрофних та аеробних біоплівкових системах при окисненні амонію [7, 20].

На рисунку 1.1В наведено приклад метаболізму між автотрофними аеробними мікроорганізмами, що окиснюють аміак (тобто нітрифікаторами), які співіснують у біоплівці з анаммоксом в системах БРРЗ та ІАМФП.

1.3 Аналіз ефективності біореакторів інтегрованого активного мулу з фіксованою плівкою для очищення стічних вод населених пунктів

Концепція БРРЗ використовується в гібридних системах разом з активним мулом, що становить інтегровану систему активного мулу з фіксованою плівкою (ІАМФП). В даній системі носії БРРЗ з прикріпленою біомасою знаходяться в резервуарі з активним мулом [21]. Системи ІАМФП на основі БРРЗ використовуються з цілого ряду причин, включаючи глибоке видалення органічних речовин, нітрифікацію, видалення азоту та фосфору, ефективне відстоювання, зменшену площу споруди та покращену експлуатаційну стабільність [22].

З моменту розробки систем ІАМФП на основі БРРЗ були розроблені концепції та схеми традиційного вторинного очищення (видалення БСК та завислих речовин) та третинного очищення (видалення біогенних речовин). Дослідження співвідношення С/Н визначали раціональні параметри, значення стехіометричних коефіцієнтів моделей та запропоновані відповідні технологічні

схеми [23].

Процес ІАМФП поєднує в собі вільноплаваючі та прикріплені системи росту мікроорганізмів [24, 25]. ІАМФП ефективно видаляє розчинений органічний вуглець і забезпечує високий ступінь нітрифікації-денітрифікації [26].

Біоплівка в системі ІАМФП дає низку переваг [27, 28]:

- дозволяє зменшити площу біореактора,
- збільшує ефективність видалення сполук азоту та фосфору,
- дозволяє збільшити час утримання твердих частинок
- збільшує ефективність видалення антропогенних композитів.

ІАМФП є одним з найбільш перспективних біотехнологій очищення стічних вод [5]. ІАМФП сприяє подальшому розвитку БРРЗ, який використовує середовище активного мулу як платформу для вирощування біоплівки [29, 30]. Таким чином, ІАМФП об'єднує біоплівку і систему активного мулу (САМ) шляхом розміщення плаваючих біоносіїв, на яких може розвиватися біоплівка [31]. САМ можуть бути переобладнані в ІАМФП для збільшення потужності очищення з незначною модифікацією [25, 31, 32].

ІАМФП може забезпечити ефективне біологічне видалення азоту (БВА) завдяки нітрифікаторам, прикріпленим до носія, які також сприяють компактності та надійності системи [33]. Співіснування біоплівки та пластівців забезпечує існування як автотрофних, так і гетеротрофних бактерій, що покращує видалення фосфору та БВА [34]. ІАМФП дозволяє впродовж року досягати стабільної та високої ефективності нітрифікації завдяки стабільній роботі біоплівки, яка дозволяє ІАМФП працювати в умовах дуже тривалого часу перебування мулу в системі (ЧПМ) [35]. ІАМФП дозволяє максимально використовувати об'єм біореактора, на відміну від інших біоплівкових реакторів, таких як дискових біофільтрів, які використовують лише частину об'єму біореактора [36]. Таким чином, конструктивні особливості як іммобілізованої, так і вільноплаваючої системи росту реалізуються у ІАМФП [37].

Біоплівка і пластівці, присутні в ІАМФП, є двома поширеними мікробними співтовариствами, які мають свої відмінні властивості. Їх структурні та фізико-

хімічні властивості дають уявлення про їх роль у деструкції забруднювачів [38, 39]. Наприклад, в САМ пластівці активного мулу є компактними (щільнішими за воду) і, таким чином, легко осідають, утворюючи майже безмульні стічні води на виході. І навпаки, надлишкова біоплівка, не так легко осідає через свої фізико-хімічні властивості [40]. Таким чином, характеристики як біоплівки, так і пластівців є важливими при проектуванні їх відстоювання [41, 42].

ІАМФП дозволяє використовувати як вільно плаваючі, так і прикріплені носії з великою площею поверхні в аеробній та анаеробній зонах. Носій для росту біоплівки як в ІАМФП, так і в БРРЗ може бути, як вільно плаваючий (нейтрально плавучий пластик, сформований у ребристі циліндри або чіпси) або прикріплений носій (на основі певних конструкцій) [39]. Біоплівка на носії збільшує концентрацію завислих речовин у муловому потоці (ЗРМП) [6]. Доведено, що ІАМФП забезпечує стабільну нітрифікацію впродовж року та дозволяє збільшувати продуктивність станції завдяки можливості збільшення ЗРМП [43]. Крім того, він поєднує в собі переваги, що пропонуються іншими біологічними процесами видалення фосфору та азоту [44, 45].

Поява ІАМФП викликана потребою у модернізації каналізаційних очисних споруд, як наслідок росту кількості населення та результат задовільної роботи БРРЗ. Проте БРРЗ має досить високий коефіцієнт заповнення носієм об'єму реактора, що має негативні наслідки (зниження гідравлічної витрати) [46]. І навпаки, ІАМФП працює з меншим коефіцієнтом заповнення носія, що сприяє підвищенню стійкості системи до коливань гідравлічних та органічних навантажень [47].

ІАМФП та БРРЗ мають суттєві відмінності в системі переробки надлишкового активного мулу та біоплівки. У БРРЗ мікроорганізми ростуть на носіях (рисунок 1.2а), які переміщуються всередині біореактора завдяки перемішуванню без необхідності переробки осаду в аноксидному/анаеробному біореакторі [48]. Перемішування має важливе значення для руху носія і створення сил зсуву для підтримки рівномірної і тонкої біоплівки. І навпаки, ІАМФП включає або фіксовані, або вільно плаваючі носії, а також мулову суміш, тоді як в даній технологічній схемі активний мул рециркулює назад у

біореактор (рисунок 1.2с) [49].

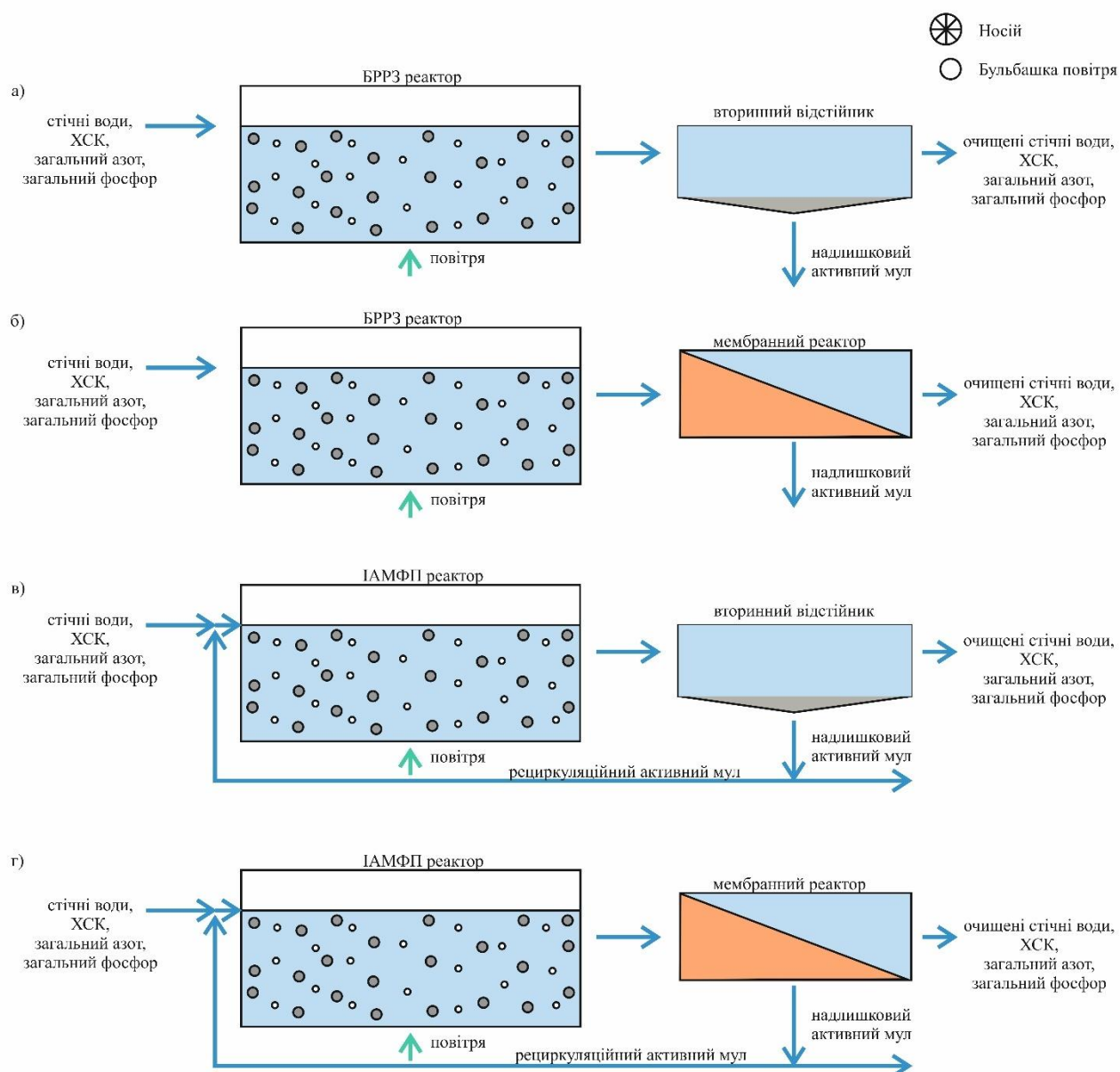


Рисунок 1.2. – Принципова схема: а) БРРЗ з наступним вторинним відстійником; б) БРРЗ з наступним мембранним розділенням; в) ІАМФП з наступним вторинним відстійником; г) ІАМФП з наступним мембранним розділенням.

Результати роботи пілотних та повномасштабних ІАМФП широко висвітлені в публікаціях. Виконані літературні огляди за результатами досягнень ІАМФП в світі [42]. Результати робіт вказують на важливу роль таких параметрів, як носій, час гідравлічного утримання (ЧГУ), інтенсивність аерації, час перебування мулу в системі (ЧПМ), концентрація розчиненого кисню (КРК)

та коефіцієнт заповнення об'єму біореактору носіями [50, 51]. Підтверджені показники високої ефективності очищення стічних вод від органічних речовин та сполук фосфору [44, 52].

На думку Шарджил Вакас та ін. [42] трьома найважливішими параметрами при роботі ІАМФП є співвідношення об'єм носія – об'єм біореактора, умови експлуатації та біологічні процеси. Таким чином, вибір носіїв, зокрема, типу, матеріалу та коефіцієнту заповнення, є дуже важливим [53]. Коефіцієнт заповнення носія в об'ємі ІАМФП, вибирається на основі характеристик вихідних стічних вод і необхідних показників очищених стічних вод [54].

Такі параметри, як концентрація розчиненого кисню, також є важливими для підтримання життєдіяльності мікроорганізмів, що очищують від органічних сполук. При цьому аерація необхідна також для підтримання носія в завислому стані [55]. Вибір ЧГУ та гідравлічних навантажень залежить від вимог до стічних вод та концентрації стічних вод [56, 57]. Невеликий вік активного мулу або ЧПМ забезпечує лише видалення органічних речовин, в той час як триваліший ЧПМ збільшує концентрацію ЗРМП, але перешкоджає перенесенню кисню [58]. Встановлено, що низька температура та рН негативно впливають на біологічну активність пластівців активного мулу [59, 60].

Характеристики біомаси в ІАМФП значною мірою залежать від концентрації розчиненого кисню та складу мікробного біоценозу [61]. Нитчасті та аміакоокислювальні бактерії (АОБ) є аеробними і ростуть у пластівцях, тоді як нітритоокислювальні бактерії (НОБ) та анаеробні бактерії окислення амонію (анаммокс), відповідно, здебільшого ростуть у біоплівці в аноксидних або анаеробних умовах [62, 63]. Конкуренція між АОБ, НОБ, анаеробними АОБ (АнаАОБ) та фосфат-акумулюючими організмами залежить від складу вихідних стічних вод та інших умов експлуатації [64, 65]. ЗРМП та розмір пластівців впливають на швидкість перенесення кисню. Високі концентрації ЗРМП також впливають на надходження та розподіл розчиненого кисню [66].

Важливим фактором у процесах очищення стічних вод є температура суміші у реакторі. Було встановлено залежності та визначено коефіцієнти рівнянь для низьких температур [67, 68]. Для вторинної (видалення БСК та завислих

речовин) та третинної (видалення біогенних речовин) очищення важлива концентрація розчиненого кисню в реакторі. Це особливо важливо для процесів утворення біоплівки та швидкості процесів очищення стічних вод. [69, 70].

Тому системи ІАМФП часто використовують для модернізації традиційних установок з активним мулом. Що призводить до зменшення площі, яку займають установки для нітрифікації, видалення азоту та фосфору. Позитивними ефектами є покращене осадження біомаси та стабільність роботи. [71-73].

Важливим фактором який впливає на ефективність роботи систем ІАМФП є значення коефіцієнту заповнення. Коефіцієнт заповнення рівний відношенню об'єму носіїв до об'єму реактора. Зазвичай цей коефіцієнт виражають у відсотках. З метою підвищення продуктивності станції чи ефективності очищення у оператора станції є можливість регулювати значення цього коефіцієнта, зазвичай у сторону його збільшення.

Річ в тому, що значення цього коефіцієнту впливає на інші технологічні показники роботи станції, зокрема на ГЧУ та ЧПМ, оскільки об'єм носіїв впливає на значення цих параметрів [74]. Вирішенням цієї задачі є пошук оптимуму, оскільки високе значення коефіцієнта зменшує ефективний об'єм реактора і навпаки.

Шарджил Вакас та ін. [42] проаналізували вплив значення коефіцієнту заповнення та його вплив на ефективність очищення в системі ІАМФП. Так, середнє значення цього коефіцієнта заповнення згідно даних, що аналізувалися становить 35% для системи ІАМФП, в той час як для БРРЗ це значення становить близько 70% [42]. Автори відмічають, що варіативність значення цього коефіцієнту для промислових стічних вод є значно вищою ніж для систем очищення муніципальних стічних вод. Висока варіативність в промислових ІАМФП свідчить про те, що важливими параметрами проектування є характеристики вихідних стічних вод та регламентована якість очищення стічних вод [75, 76].

На вибір коефіцієнту заповнення впливає ГЧУ та ЧПМ [47, 45]. Вищий коефіцієнт заповнення носія зменшує кількість пластівців та вільний об'єм, що в кінцевому підсумку знижує ГЧУ [77]. Високий коефіцієнт заповнення (60-70%)

знижує гідравлічний об'єм ІАМФП, оскільки залишає менше об'єму для змішаного розчину активного мулу та носіїв та скорочує ГЧУ пластівців активного мулу і, таким чином, одночасно збільшує час утримання біоплівки в системі [46]. І навпаки, нижчий коефіцієнт заповнення збільшує ГЧУ та захищає систему проти раптових гідравлічних навантажень. При високому коефіцієнті заповнення ІАМФП може досягти високих показників видалення сполук азоту та фосфору завдяки вищому ЧПМ та більшій кількості біоплівки. Вищий коефіцієнт заповнення сприяє біологічному видаленню сполук азоту і фосфору, але повинен супроводжуватися великими витратами енергії на перемішування, і тому, як правило, обмежується до <60% [78].

Коефіцієнт заповнення побутових ІАМФП коливається між 8-60%, тоді як промислових ІАМФП – 15-60% [42]. Медіанні значення для побутових та промислових ІАМФП становлять 40% та 30% відповідно (Рисунок 1.3.). Коефіцієнт заповнення вибирається на основі проектної продуктивності, його значення вище для процесів глибокої нітрифікації, оскільки для цих процесів потрібна більша кількість біоплівки. Мартін-Паскуаль та ін. [79] показали, що 20% носія було достатньо для досягнення високої ефективності видалення органічних речовин.

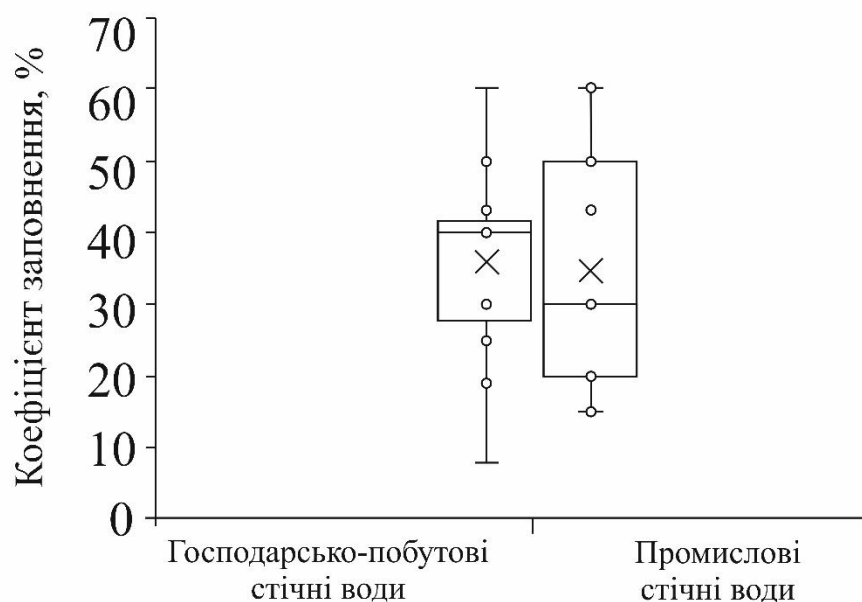


Рисунок 1.3. – Бокс-діаграми, що порівнюють коефіцієнт об'ємного заповнення носія в ІАМФП [42].

Час гідравлічного утримання і швидкість осадження носія визначають необхідний об'єм реактора. Вони диктують ефективність ІАМФП і, таким чином, повинні бути вирішені оптимізаційні задачі [80, 81], в тому числі для видалення амонійного азоту [82]. Стічні води з низькою концентрацією забруднень потребують меншого значення ГЧУ (3-12 год), і навпаки для більш концентрованих вод це значення більше. Тим не менш, обґрунтування вибору значень ГЧУ для різних проектних задач все ще залишається відкритим [42].

Позаклітинні полімерні речовини (ППР) – це компоненти пластівців/біоплівки, що є продуктами метаболізму або утворюються із залишків лізису клітини. ППР визначають фізико-хімічні властивості пластівців, формуючи їх структурну та функціональну стабільність [83]. Таким чином, ППР відіграє важливу роль у властивостях осідання, флокуляції та зневоднення пластівців [84].

ППР - це слизоподібна речовина, що виділяється мікроорганізмами. Основними компонентами ППР є білки та вуглеводи. Гумінові речовини, ключовий компонент пластівців або біоплівки, складають 20% вмісту ППР [85]. Різні другорядні компоненти містять нуклеїнові кислоти, ліпіди, неорганічні компоненти та кислоти [86]. ППР сприяють адгезії клітин до твердої поверхні або один до одного шляхом модифікації поверхні клітинних стінок [87]. Наявність товстої біоплівки може призвести до підвищення загального рівня ППР. ППР також сприяє розвитку нітрифікуючих бактерій, сприяючи адгезії клітин і захищаючи їх від раптових змін навколишнього середовища. Однак, надмірний ППР сприяє утворенню густої плівки, яка перешкоджає дифузії органічних речовин і знижує продуктивність [88]. Шин та ін. [89] досліджували вплив концентрації розчиненого кисню на утворення ППР в ІАМФП. Вони виявили, що вищий рівень концентрації розчиненого кисню підвищує вміст вуглеводів, але зберігає білковий склад. Вуглеводи та білки демонструють подібні концентрації в ППР при низькому рівні концентрації розчиненого кисню.

ІАМФП дозволяють досягнути 64,8-100% видалення ХСК. Середнє значення видалення складає 95%, причому половина дослідних даних знаходиться в діапазоні 90-96,8% [42]. Значення ХСК в стічних водах, що

надходили на очищення знаходилося в діапазоні 60-607 мг/л. ІАМФП демонструє ефективне видалення ХСК при значенні у вхідних стічних водах менше 100 мг/л для всіх досліджень, що аналізувалися [42].

Лейва-Діас та ін. [90] досягли 87% видалення ХСК у пілотному ІАМФП, що експлуатувався при низькому ЧПМ близько 11 діб. Манніна та ін. [91] здійснили перевірку ефективності ІАМФП-БРРЗ і досягли 98% видалення ХСК. Результати узгоджуються з даними Лейва-Діас та ін. [90] як для конфігурацій БРРЗ, так і для конфігурацій ІАМФП-БРРЗ. Обидві системи мали подібний коефіцієнт заповнення носіями та ГЧУ і досягли >98% видалення органічних речовин [92]. Ді Трапані та ін. [44] порівняли пілотні системи ІАМФП та системи з активним мулом і дійшли висновку, що ІАМФП демонструє більш високі показники видалення органічних речовин та амонію.

ІАМФП може підтримувати високу ефективність очищення стічних вод за показником ХСК навіть при низьких рівнях концентрації розчиненого кисню (КРК) (0,7-1,5 мг/л). ІАМФП та БРРЗ досягають ефективного видалення ХСК (>90%) навіть при низькому рівні КРК ($\leq 0,4$ мг/л). Тао і Хамуда [93] оцінили видалення ХСК в ІАМФП і БРРЗ при різних інтенсивностях аерації. Обидва досягли видалення ХСК >90% і підтримували ХСК очищених стічних вод на рівні <50 мг/л. Малований та ін. [94] повідомляють про подібні результати для локальних ІАМФП при застосуванні процесу часткового нітритування/анаммокс. Результати дослідження підкреслюють можливість експлуатації ІАМФП при низькому рівні КРК, але при цьому вони повинні відповідати суворим стандартам якості очищених стічних вод [42].

Були проведені широкі дослідження щодо застосування ІАМФП для ефективного видалення біогенних речовин, особливо для сполук азоту. ІАМФП продемонстрував високу ефективність для видалення сполук азоту [95]. Рухливість носіїв в ІАМФП сприяє інтенсивному перенесенню кисню і поживних речовин [96]. Співвідношення C/N є важливим для росту як гетеротрофних, так і автотрофних нітрифікуючих бактерій. На нітрифікацію впливає конкуренція за об'єм, кисень та біогенні речовини між автотрофними та гетеротрофними бактеріями [97, 98].

ІАМФП дозволяє досягнути 33,9-99,93% видалення сполук азоту при середньому значенні цього показника 80%, половина даних знаходиться в діапазоні 70-90% [42]. Дані про видалення 33,9% вважаються відхиленням від норми. Концентрація азоту у вхідних стічних водах коливається в межах 30-210,5 мг/л, що в подальшому впливає на вибір інших параметрів [99].

Важливим напрямом є моделювання процесів очищення стічних вод. Таким чином, експериментальні дані використовуються для калібрування математичних моделей. Моделі розроблені як для чистих БРРЗ, так установок ІАМФП на основі БРРЗ [45, 100-103].

Поєднання біоплівки та пластівців активного мулу додає складності моделюванню через більш виражений розподіл повільно та швидкозростаючих мікроорганізмів. Було розроблено декілька моделей для моделювання конструкції, експлуатаційних параметрів, продуктивності та складної взаємодії біоплівки та вільноплаваючих мікроорганізмів для забезпечення кращого розуміння внутрішніх зв'язків між властивостями біомаси та ефективністю процесів [34, 104]. Кінетичне моделювання є важливим для опису швидкості росту біомаси та деструкції субстрату. Були опубліковані рекомендації для ІАМФП та БРРЗ [34].

Доведено, що ІАМФП ефективно очищає побутові та промислові стічні води з високим вмістом амонію, а також сприяє ефективному накопиченню мікроелементів. Біоплівка в ІАМФП сприяє стійкій адаптації бактерій АОБ, АнаОБ, НОБ та анаммокс. Співіснування в ІАМФП автотрофних і гетеротрофних мікроорганізмів дозволяє очищати стічні води з високою мінералізацією. У порівнянні з БРРЗ, ефективність очищення ІАМФП може зберігатися навіть при низьких температурах (-9 °C) [42]. Таким чином, подальші дослідження ефективності ІАМФП в умовах, що сильно змінюються, є цікавими для вивчення. Така здатність може бути хорошою перевагою для забезпечення стабільності системи у високодинамічних середовищах.

1.4 Мета та задачі досліджень інтегрованої системи активного мулу з фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод населених пунктів

Магістерська дисертація спрямована на вирішення важливої проблеми національної безпеки та оборони, життя людей – забезпечення належної якості очищення стічних вод, шляхом розробки і обґрунтування технічних заходів із зменшення собівартості її очищення.

Залишаються невирішеними та вимагають детального вивчення ряд дослідницьких прогалин, що стосуються механізмів видалення, реальної ефективності, експлуатаційних витрат та впливу на навколишнє середовище.

Метою магістерської дисертації є дослідження інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод населених пунктів. Для дослідження було обрано установки ІАМФП на основі БРРЗ в останній частині реактора.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- провести аналіз інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод об'єднаних територіальних громад;
- розробити методологію досліджень та принцип роботи дослідної установки для процесу очищення стічних вод та культивування мікроорганізмів;
- визначити ефективність та оптимальні параметри біотехнологічного процесу біореактора з активним мулом та біоплівкою на реальних міських стічних водах;
- отримати дані про динаміку зростання біоплівки на носії в період очищення стічних вод при зміні технологічних параметрів установки;
- розробити стартап-проект на основі інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ З АКТИВНИМ МУЛОМ ТА ФІКСОВАНОЮ БІОПЛІВКОЮ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

2.1 Матеріали досліджень інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод

Дослідження виконували на промисловій установці (рисунок 2.1-2.7), яка складалася з першого та другого реактора, відстійника, аераційної системи та системи подачі та відведення забрудненої та очищеної води.

Дослідна установка являла собою прямокутну в плані споруду висотою 2000 мм та шириною 1150 мм і довжиною 1850 мм. Конструкція установки виготовлена з листів поліпропілену листового з товщиною стінок 6 та 8 мм зварених за допомогою круглого прутка d_4 . Для реалізації плану експерименту установка була поділена на два реактора та відстійник за допомогою перегородок з поліпропілену. Гідравлічне сполучення реакторів 1 та 2 та реактора 2 і відстійника здійснювалося за допомогою пристрою з перфорованої труби (рисунок 2.4).

В якості завантаження для іммобілізації мікроорганізмів використовували завантаження українського виробництва марки F1 з носія $2000 \text{ м}^2/\text{м}^3$, вагою 0,225 г та діаметром 10 мм (рисунок 2.6).

Внутрішня рециркуляція мулової суміші з відстійника в 1 реактор проводилася за допомогою насосу DGbluePRO 50 (виробництва фірми «Zenit» (Італія)).

Аерація мулової суміші та перемішування завантаження для іммобілізації мікроорганізмів виконувалося за допомогою системи аерації, яка включала джерело повітря – компресор JDK-S-200 (фірми «Secoh» (Японія) розміщеного в аераційній шафці біля установки, системи повітропроводів від компресора до аераторів із поліпропіленових труб та дрібнобульбашкових тарілчастих аераторів (Рисунок 2.3, 2.4) розташованих на дні реакторів 1 та 2.

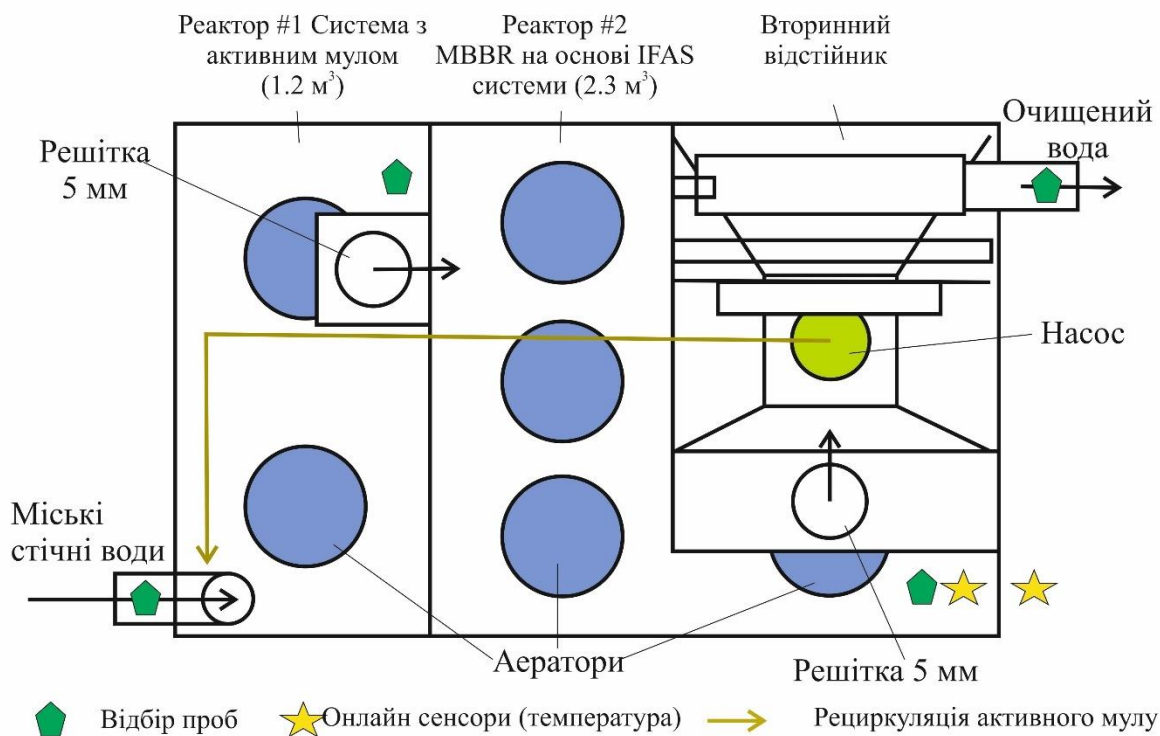


Рисунок 2.1. – План дослідної установки.

Подача попередньо освітленої стічної води виконувалася за допомогою ерліфта висотою 4000 мм зануреного в кінці первинного відстійника КОС «Рівнеоблводоканал» (м. Рівне) та трубопроводу діаметром 110 мм і довжиною 2000 мм, що з'єднував ерліфт та промислову установку.

Відведення очищеної води відбувалося через трубопровід діаметром 110 мм в нижній канал первинного відстійника КОС «Рівнеоблводоканал» (м. Рівне).

На рисунку 2.2 наведений зовнішній вигляд дослідної установки. На рисунках 2.3, 2.4 і 2.5 наведені відповідно вигляд першого, другого реактору дослідної установки та вторинній відстійник. На рисунку 2.6 наведене зображення завантаження, що використовувалося для іммобілізації мікроорганізмів під час експериментів. На рисунку 2.7. наведена система автоматизованого вимірювання температури стічних вод та повітря.



Рисунок 2.2. – Зовнішній вигляд дослідної установки.



Рисунок 2.3. – Перший реактор дослідної установки.



Рисунок 2.4. – Другий реактор дослідної установки.



Рисунок 2.5. – Відстійник дослідної установки.

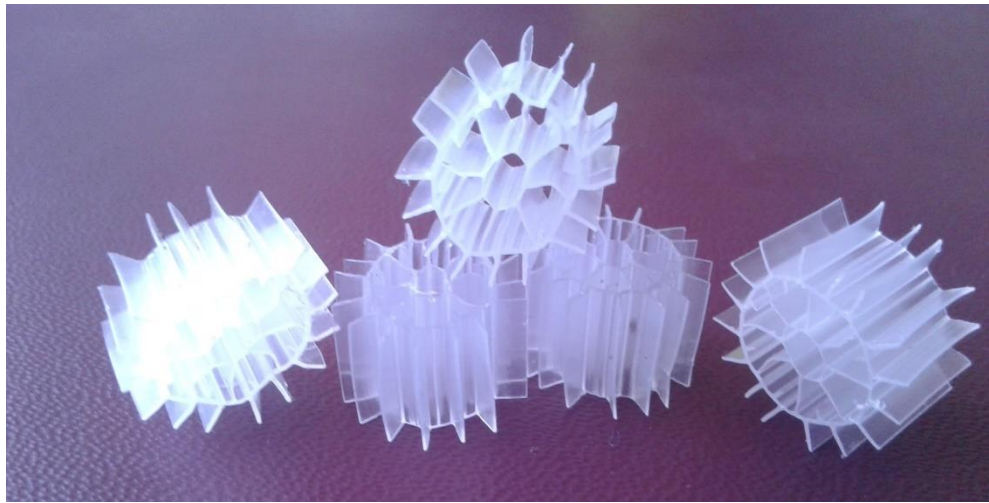


Рисунок 2.6. – Зображення завантаження для іммобілізації мікроорганізмів.



Рисунок 2.7. – Система автоматизованого вимірювання температури середовища.

2.2 Методика та методи досліджень інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою для очищення стічних вод

В процесі досліджень біотехнології ІАМФП на дослідній установці основною задачею було перевірити працездатність біотехнології ІАМФП на реальних стічних водах міста Рівне та працездатність конструкції розробленої дослідної установки, визначити ефективність і оптимальні технологічні параметри процесу біологічного очищення муніципальних стічних вод міста Рівне. Одночасно необхідно було отримати дані про динаміку приросту біоплівки на носії впродовж періоду очищення при зміні технологічних параметрів роботи установки згідно плану експерименту та оцінити ефективність використаних носії та виконати порівняння з системами з вільноплаваючим активним мулом.

Дослідження проводилися на каналізаційних очисних спорудах (КОС) «Рівнеоблводоканал» м. Рівне. Технологічний регламент очисної станції РОВКП «Рівнеоблводоканал» визначає такі показники стічних вод на вході: хімічне споживання кисню (ХСК) – 293 мг/дм³; біохімічне споживання кисню (БСК₅) – 165 мг/дм³; концентрація завислих речовин (ЗР) – 159 мг/дм³; NH₄⁺ – 39 мг/дм³; фосфати – 7,5 мг/дм³; нафтопродукти – 1,52 мг/дм³; мідь – 0,04 мг/дм³; синтетичні поверхнево активні речовини (СПАР) – 0,15 мг/дм³; сульфати – 48 мг/дм³; хлориди – 87 мг/дм³ та залізо (загальне) – 0,78 мг/дм³ [105].

Відповідно до нормативу гранично допустимого скидання речовин у водні об'єкти встановлені показники складу вод, що скидаються у річку Устя: ХСК≤80 мг/дм³; БСК₅≤15 мг/дм³; ЗР≤15 мг/дм³; NH₄⁺≤2,0 мг/дм³; фосфати≤3,5 мг/дм³; нафтопродукти≤0,4 мг/дм³; мідь≤0,024 мг/дм³; СПАР≤0,05 мг/дм³; сульфати=48 мг/дм³; хлориди=87 мг/дм³ та залізо (загальне) =0,4 мг/дм³ [106].

На сьогодні місто Рівне утворює близько 70-80 тис. м³/добу стічних вод. З яких близько 25-30 тис. м³/добу стічних вод очищується на КОС «Рівнеоблводоканал» (м. Рівне) тоді як решта перекачується на КОС приватного підприємства ПАТ «Рівнеазот» розташованого на відстані 10 км від міста. Мерія

міста Рівне та «Рівнеоблводоканал» здійснюють пошук шляхів збільшення продуктивності КОС «Рівнеоблводоканал» (м. Рівне) з 30 тис м³/добу до 60-70 тис. м³/добу. За підсумками проведеного літературного огляду встановлено, що одним із шляхів підвищення продуктивності КОС «Рівнеоблводоканал» (м. Рівне) може бути біотехнологія очищення стічних вод ІАМФП.

Апробація біотехнології очищення стічних вод ІАМФП на основі стічних вод м. Рівне здійснювалася у дослідній установці згідно розробленого плану експерименту.

На першому етапі досліджень виконувались пуско-налагоджувальні роботи та введення дослідної установки в роботу. Об'єми реакторів були активним мулом із діючих аеротенків КОС «Рівнеоблводоканал» (м. Рівне) на 50-60% з наступним наповненням реакторів освітленою стічною водою до робочих відміток установки. В процесі пуско-наладки контролювали технологічні параметри установки таким чином, щоб концентрація активного мулу в установці становила 2,5-3,0 г/дм³. Перший етап передбачав, що установка працювала впродовж 2-4 тижнів і здійснювала очищення стічної води вільноплаваючим активним мулом. Етап передбачав перевірку працездатності установки як за технологічними так і за гідравлічними параметрами. Пуско-налагодження установки було завершено впродовж 3-4 тижнів, отримавши на виході з установки достатні результати очищення та технологічні параметри. При проведенні досліджень періодично здійснювали вимірювання основних технологічних показників та концентрацій забруднень, ХСК та БСК₅.

На другому етапі в 2 реактор дослідної установки були завантажені рівними частинами носії для іммобілізації мікроорганізмів у два етапи. Загальний об'єм завантаження склав 0,337 м³. Таким чином 2 реактор працював за біотехнологією ІАМФП.

Масу сухої біоплівки на носіях визначали за допомогою двоетапного протоколу, що застосовується до 200 носіїв, відібраних у реакторі. Спочатку носії були висушені при 105 °С протягом 10 днів, потім охолоджені та зважені. Потім біоплівка відокремлювалася механічно (щіткою) та хімічно (хлорованою водою), після чого повторно висушувалася, охолоджувалася та зважувалася [73].

Для вирішення поставлених завдань був використаний комплекс сучасних методів. При проведенні експериментів були застосовані методи пасивного й активного експерименту з наступною обробкою за допомогою програмного забезпечення. Експериментальні дослідження виконані в виробничих умовах з використанням реальних стічних вод населеного пункту. Відповідно до плану експерименту виконували періодичне вимірювання концентрацій забруднень БСК, ХСК, азоту амонійного, нітритів, нітратів, розчиненого кисню, температури та рН. Отримані значення фіксували в журналі досліджень біотехнології ІАМФП на дослідній установці.

Відбір проб здійснювали згідно КНД 211.1.0.009-94. «Гідросфера. Відбір проб для визначення складу та властивостей стічних та технологічних вод. Основні положення.» та оцінювали похибки вимірювань згідно РД 211.0.7.011-94. «Алгоритми оцінювання характеристик похибки вимірювань за методиками визначення складу та властивостей проб вод. Методичні вказівки.»

Концентрацію сполук азоту визначали згідно КНД 211.1.4.023-95. «Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Грісса в поверхневих та очищених стічних водах.», КНД 211.1.4.027-95. Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою у поверхневих та біологічно очищених водах.», КНД 211.1.4.030-95. «Методика фотометричного визначення амоній-іонів з реактивом Несслера в стічних водах.», КНД 211.1.4.031-95. «Методика титриметричного визначення загального азоту в стічних водах.»

Хімічне споживання кисню (ХСК) визначали згідно КНД 211.1.4.021 «Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах», біохімічне споживання кисню згідно КНД 211.1.4.024-95. «Методика визначення біохімічного споживання кисню після *n* днів (БСК) в природних і стічних водах.»

Воднений показник рН визначали згідно ДСТУ 4077-2001 (ISO 10523:1994) «Якість води. Визначання рН». Концентрацію завислих речовин (ЗР) визначали згідно КНД 211.1.4.039 «Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних і стічних водах.»

Концентрацію розчиненого кисню суміші стічних вод та активного мулу згідно ДСТУ ISO 5813:2004 «Якість води. Визначення розчиненого кисню. Йодометричний метод» та за допомогою оксиметру «AZ 8402».

Температуру суміші стічної води та активного мулу визначали за допомогою автоматизованої системи вимірювання температури середовища (рисунок 2.7). Вимірювання температури виконувалось термометрами опору. Система автоматизованого вимірювання температури складалася з блоку автоматичного фіксування та зберігання даних, кабелю та термоперетворювачів. Блок автоматичного фіксування та зберігання даних складався з модулю вводу (MB110-224.8A), модулю збору даних (МСД-200), карти пам'яті (MicroSD 8G) та блоку живлення (БПЗ0Б-ДЗ-24). З'єднання термоперетворювачів та блоку здійснювалося за допомогою кабелю ПВС 3х1. Датчиком температури середовища був термоперетворювач TCM1-7-100M, який був занурений у вимірюване середовище на глибину приблизно 1,0 м. Влаштування термоперетворювача в потоці вимірюваного середовища здійснювалося за допомогою футляра зі сталеві труби.

Мікробіологічний аналіз активного мулу та біоплівки здійснювали мікроскопом SIGETA MB-202 40x-1600x LED Bino з цифровою камерою. Для мікроскопічного дослідження використовували проби активного мулу з турбулентної аерованої зони установки. Для документування біоценозу охоплювали такі структури та групи мікроорганізмів [107]:

- будову мулових пластівців описують на основі форми, міцності, структури та розміру;
- визначення нитчастих бактерій мулу відбувається при збільшенні 100x шляхом віднесення до однієї із зображених категорій;
- наявність спірил, найпростіших одноклітинних (джгутикових, амеб, текамеб *Thecamoebidae*, війчастих *Ciliophora*) і багатоклітинних (коловерток) та їх кількість оцінюється для конкретного препарату;
- порядок чисельності вільних бактеріальних клітин фіксується для поля зору при збільшенні 400x.

На основі аналізу робили висновок про якість біоценозу (добре, посередньо,

погано).

Якість активного мулу визначається морфологією пластівців, присутністю ниткоподібних мікроорганізмів та вільних бактеріальних клітин, а також наявністю одноклітинних найпростіших (*Protozoa*) та багатоклітинних (*Metazoa*).

Полегшити оцінку якості мулу мають такі загальні інструкції [107]:

- Під час проведення мікроскопічного дослідження треба перевірити, чи наявні групи мікроорганізмів характерні для заданого гідравлічного навантаження. При низькому навантаженні зустрічаються передусім вільні організми з тривалим часом життя поколінь, такі як текамеби та багатоклітинні *Metazoa*. У споруді, що працює з високим навантаженням, через велику кількість поживних речовин та малий вік активного мулу зустрічаються передусім вільні бактерії, джгутикові та амеби.

- Велика видова різноманітність одноклітинних найпростіших та багатоклітинних організмів є ознакою стабільних умов експлуатації та середовища.

- Скорочення видової різноманітності та/або масова поява окремих видів дають підставу зробити висновок про порушення біоценозу або про нестабільні умови експлуатації.

- Наявність спірил, які поширені у середовищі, бідному на кисень, яке містить сульфіди, може вказувати на недостатню аерацію та/або процеси гниття.

- Хороші властивості з огляду на добру седиментацію мулу демонструють закруглені пластівці середнього розміру з міцною та компактною структурою.

- Вміст твердих речовин у стоках на виході з очисної споруди буде незначним, якщо пластівці мулу мають добру якість, а густина ниткоподібних мікроорганізмів та вільноплаваючих бактерій є низькою.

Результати мікроскопічного дослідження у поєднанні з параметрами, вимірними за допомогою приладів, та їх достовірним аналізом дають можливість оцінки технології процесів на очисній споруді [107].

2.3 Принцип роботи дослідної установки

Попередньо очищені стічні води надходили з первинного відстійника діючих очисних споруд через ерліфт в реактор №1 експериментальної установки. У реакторі № 1 вихідна стічна вода змішувалася з активним рециркулюючим мулом з вторинного відстійника пілотної установки.

У реакторі №1 пілотної установки відбувалося два процеси: перший процес - змішування освітленої стічної води та активного рециркулюючого мулу з відстійника пілотної установки, і другий процес - перша стадія очищення стічних вод. Біологічне очищення води відбувалося за допомогою вільно плаваючого активного мулу. Суміш стічних вод та активного мулу після 1-ї стадії очищення в реакторі 1 надходила в реактор 2. Згідно з планом експерименту, носії для іммобілізації мікроорганізмів завантажувалися в реактор 2 у два етапи рівними порціями, загальним обсягом 0,34 м³.

Для оцінки ефективності очищення стічних вод залежно від співвідношення об'єму носіїв та об'єму суміші стічних вод та активного мулу було вирішено завантажувати носії у два етапи. Співвідношення спочатку склало 9%, а потім – 18 %. Процес завантаження носіїв в реактор 2 пілотної установки показаний на рисунку 2.8.

Аерація суміші стічних вод з активним мулом та носіями здійснювалася за допомогою невеликих бульбашок пластинчастих аераторів. Біологічна обробка тривала відповідно до періоду, визначеного планом експерименту.

Пристрій, що гідравлічно з'єднує реактор і відстійник (рисунку 2.3,2.4), запобігав можливості переходу носіїв у відстійник. Очищені стічні води та активний мул надходили у відстійник.



Рисунок 2.8. – Процес завантаження носіїв у реактор №2.

Очищені стічні води відводилися трубопроводом у нижній канал першого відстійника робочої станції очищення стічних вод м. Рівне. Активний мул гравітаційно осідав на дно вторинного відстійника дослідної установки. Рециркуляційний насос вмикався один раз на 2 години. Насос здійснював рециркуляцію активного мулу в 1 реактор пілотної установки за 1-2 хвилини.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ З АКТИВНИМ МУЛОМ ТА ФІКСОВАНОЮ БІОПЛІВКОЮ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

3.1 Результати дослідження інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою при очищенні стічних вод міста Рівне

Параметри стічних вод визначалися відповідно до методів, наведених у розділі 2.

Ефект очищення стічних вод на пілотній установці визначався у відсотках за рівнянням:

$$E = \frac{\text{Indicator}^{\text{en}} - \text{Indicator}^{\text{ex}}}{\text{Indicator}^{\text{en}}} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

де: $\text{Indicator}^{\text{en}}$ - показник на вході в пілотну установку; $\text{Indicator}^{\text{ex}}$ - показник на виході з пілотної установки.

Результати дослідження інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою при очищенні стічних вод міста Рівне на дослідній установці наведені в таблиці 3.1.

Варто вказати, що рішення про завантаження носіїв в два етапи не дозволило в даному часовому діапазоні оцінити коефіцієнт заповнення на ефект очищення по БСК₅ та амонійному азоту.

Під час експерименту на установку надходили стічні води із міста Рівне, тому спостерігалися коливання концентрацій забруднюючих речовин. Негативний вплив на ефект очищення вплинули стічні води з концентрацією завислих речовин 404 мг/дм³, що надійшли на 15 добу експерименту.

Дослідній установці потрібен певний період часу, щоб повернутися до необхідних робочих параметрів. Крім того, сталося різке зниження температури суміші стічних вод та активного мулу до 12,38 °С на 36 добу експерименту.

Таблиця 3.1

Результати дослідження інтегрованої системи з активним мулом та фіксованою біоплівкою при очищенні стічних вод міста Рівне на дослідній установці

Діб від початку експерименту/ Показник	1	8	15	22	29	36	43
Витрата стічних вод, м ³ /добу	5,98	6,03	5,94	5,99	5,05	3,98	2,99
Водневий показчик води (рН)	7,73	7,69	7,54	7,7	7,92	7,74	7,65
БСК ₅ , мг О ₂ /дм ³	Вхід	254	257	243	245	184	250
	Вихід	14	5,7	7,4	17,5	15,3	23
Амонійний азот, мг/дм ³	Вхід	61	53,8	55,1	59,1	66,2	77,6
	Вихід	0,2	0,14	2,24	0,45	0,38	0,65
Концентрація розчиненого кисню, мг О ₂ /дм ³	Реактор 1	6,1	6,7	6,7	7,3	4,7	3,8
	Реактор 2	5,8	6,6	6,5	6,2	4,9	4,3
Завислі речовини, мг/дм ³ (Вхід в установку)	119	170	404	143	153	135	188
Ефективність очищення за показником БСК ₅ , %	94,5	97,8	97,0	92,9	91,7	90,1	90,8
Ефективність очищення за амонійним азотом, %	99,7	99,7	95,9	99,2	99,4	98,6	99,2
Температура зовнішнього середовища, °С	23,56	13,84	9,65	8,61	14,95	5,84	15,4
Температура суміші стічних вод та активного мулу, °С	20,06	17,81	15,92	16,33	17,94	12,38	17,94

Динаміка ефективності очищення стічних вод за показником БСК₅ впродовж проведення експерименту представлена на рисунку 3.1.

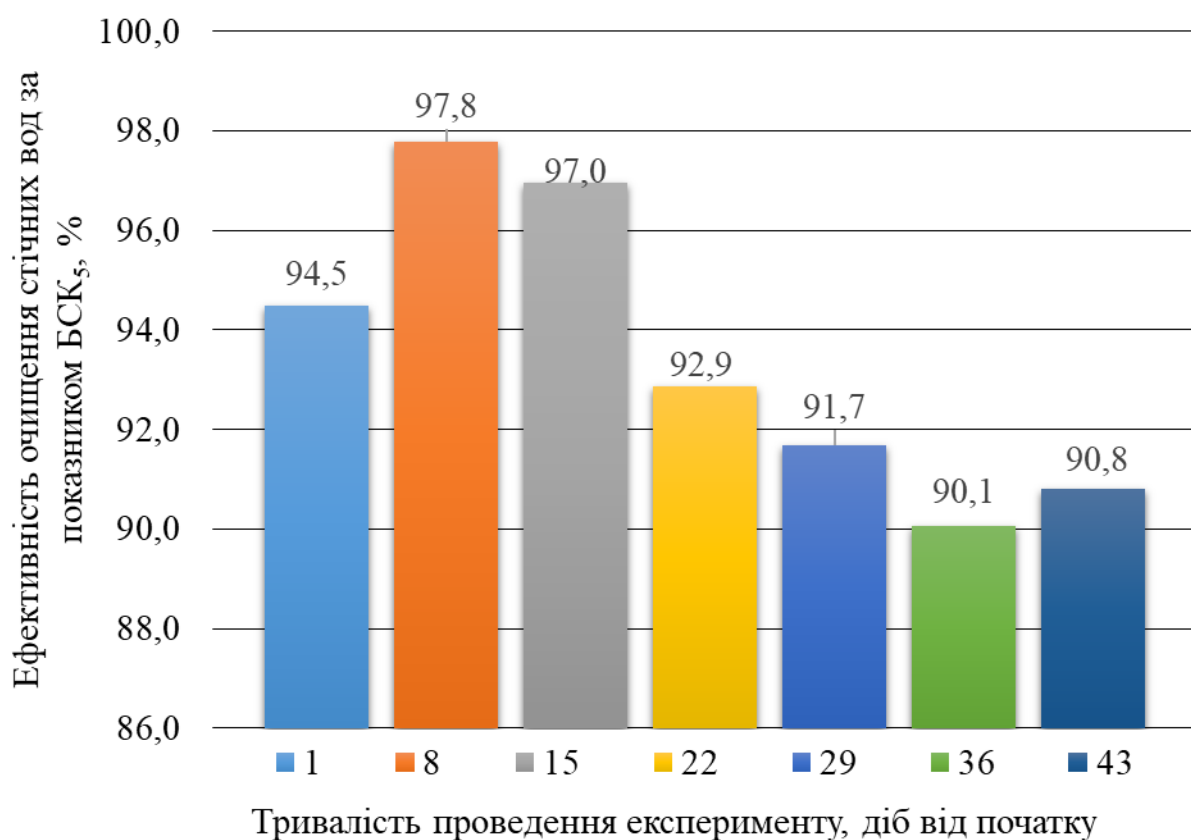


Рисунок 3.1. – Динаміка ефективності очищення стічних вод за показником БСК₅ впродовж проведення експерименту.

БСК₅ є біохімічним споживанням кисню впродовж 5 діб і визначає кількість кисню, яку споживають мікроорганізми впродовж 5 діб щоб розчепити органічні речовини при температурі 20 °С [107]. Кількість забруднювальних речовин на одного жителя виражених в показнику БСК₅ неочищених стічних вод в Україні становить 54 г/добу [108]. За директивою Ради Європи [109] БСК₅ неосвітленої води унормовано як міжнародну норму держав ЄЕС у кількості 60 г/добу.

Виконаний літературний огляд та аналіз ефективності біореакторів інтегрованого активного мулу з фіксованою плівкою для очищення стічних вод населених пунктів (розділ 1.3) вказує, що половина дослідних даних знаходиться в діапазоні ефективності очищення за ХСК 90-96,8% [42]. Під час проведення досліджень була відсутня технічна можливість визначити ефективність очищення за ХСК тому ефективність споживання кисню визначалася за БСК₅. Аналізуючи результати досліджень (рисунок 3.1) фіксуємо ефективність очищення за показником БСК₅ > 90% при різних гідравлічних навантаженнях та впливі температури. Таким чином біотехнологія ІАМФП демонструє високий

показник ефективності очищення за органічними речовинами згідно експериментальних даних та плану проведення експерименту на основі стічних вод міста Рівне.

Динаміка ефективності очищення стічних за показником концентрації амонійного азоту наведена на рисунку 3.2.

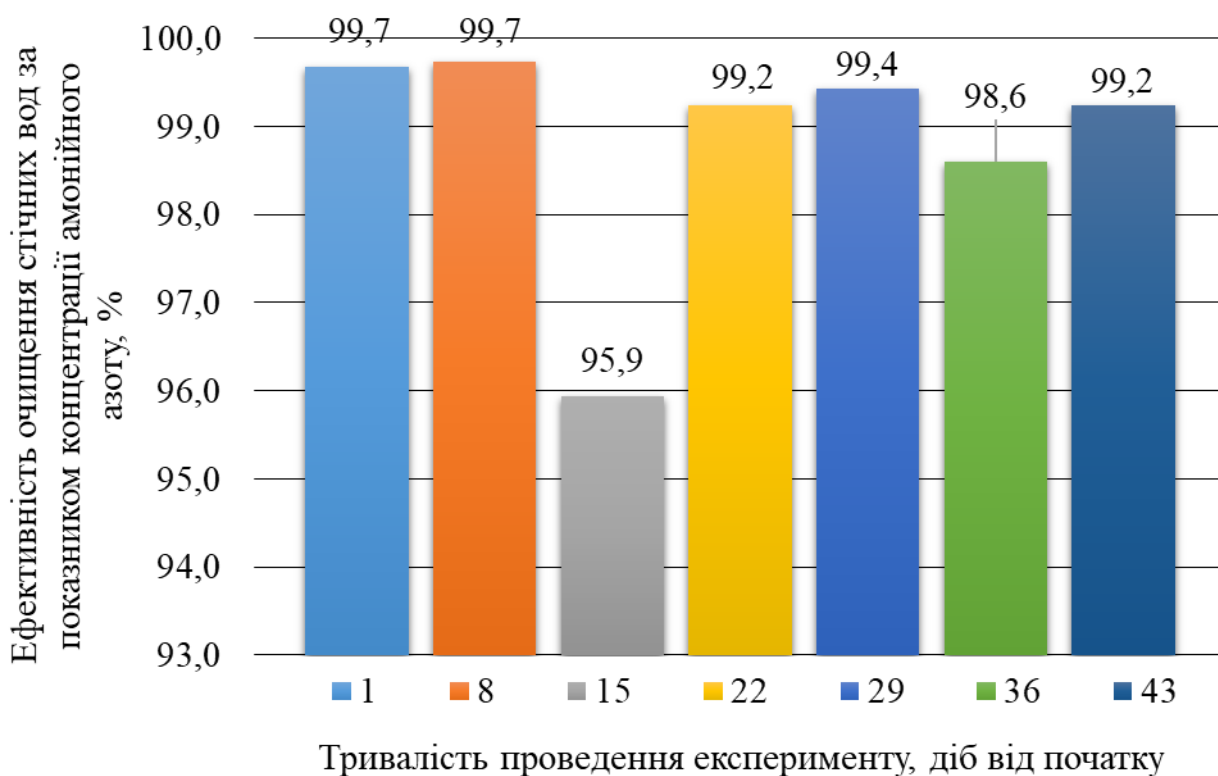


Рисунок 3.2. – Динаміка ефективності очищення стічних за показником концентрації амонійного азоту.

Поруч з органічними речовинами в стічних водах є також сполуки азоту. На вході в очисну споруду ці сполуки здебільшого перебувають у вигляді амонійного азоту. $\text{NH}_4\text{-N}$, вимірюється у мг/л. Оскільки амонійний азот споживає кисень у водоймах, важливо, щоб на виході з очисної споруди концентрація $\text{NH}_4\text{-N}$ була якомога нижчою. Загалом концентрація $\text{NH}_4\text{-N}$ на вході до комунальних очисних споруд становить між 40 та 60 мг/л. Якщо не передбачено ніяких особливих заходів для її зниження, то на виході зі слабо завантажених очисних споруд вона знижується приблизно вдвічі [107]. Кількість забруднювальних речовин на одного жителя виражених в показнику азоту амонійний солей

становить 8 г/добу на одного жителя [108].

Як стверджують дослідники ІАМФП дозволяє досягнути 33,9-99,93% видалення сполук азоту при середньому значенні цього показника 80%, половина даних знаходиться в діапазоні 70-90% [42]. Отримані дослідні результати демонструють високий ефект очищення стічних вод від амонійного азоту, зокрема ефект очищення становить 95,9-99,7% (рисунок 3.2). Такий високий ефект ще раз демонструє ефективну роботу активного мулу та біоплівки, що формується на носіях для проведення процесу нітрифікації. Таким чином біотехнологія ІАМФП демонструє високий показник ефективності очищення за амонійний азотом згідно експериментальних даних та плану проведення експерименту на основі стічних вод міста Рівне.

Концентрація кисню у другому реакторі коливалася не більше 4-6 мг/дм³. Кількість кисню, що подається в стічні води, регулювалася за допомогою клапана.

Однак дотримання нижчих концентрацій кисню виявилось неможливим через особливості роботи аераторів. Зазвичай, проєктують на концентрацію розчиненого кисню 4-6 мг/дм³ при піковому навантаженні [45]. Швидкість нітрифікації лінійно залежить від концентрації кисню до 10 мг/дм³ [103, 69]. Коливання температури стічних вод також впливають на величину питомої швидкості окислення забруднюючих речовин.

Перенесення кисню посилюється завдяки наявності носіїв [68]. Якщо частка заповнення (приблизно до 60%), то краще перенесення кисню. Користь від носіїв залежить від конструкції носія, що використовується. На дослідній установці з часткою заповнення всього 18% було досягнуто повної нітрифікації при аеробному гідравлічному часі перебування 0,7-1,3 дні та температурі 15°C.

3.2 Динаміка росту біоплівки на носіях та оцінка біоценозу активного мулу

Також одним із завдань дослідження була оцінка динаміки зростання біоплівки на носіях. Носії було взято з дослідної установки в період з 15 по 36 добу досліджень.

Масу сухої біоплівки на носіях визначали за допомогою двоетапного протоколу, що застосовується до 200 носіїв, відібраних у реакторі. Спочатку носії були висушені при 105 °С протягом 10 днів, потім охолоджені та зважені. Потім біоплівка відокремлювалася механічно (щіткою) та хімічно (хлорованою водою), після чого повторно висушувалася, охолоджувалася та зважувалася [73].

Результати динаміки росту біоплівки на носіях у грамах сухої речовини представлені на рис. 3.3.

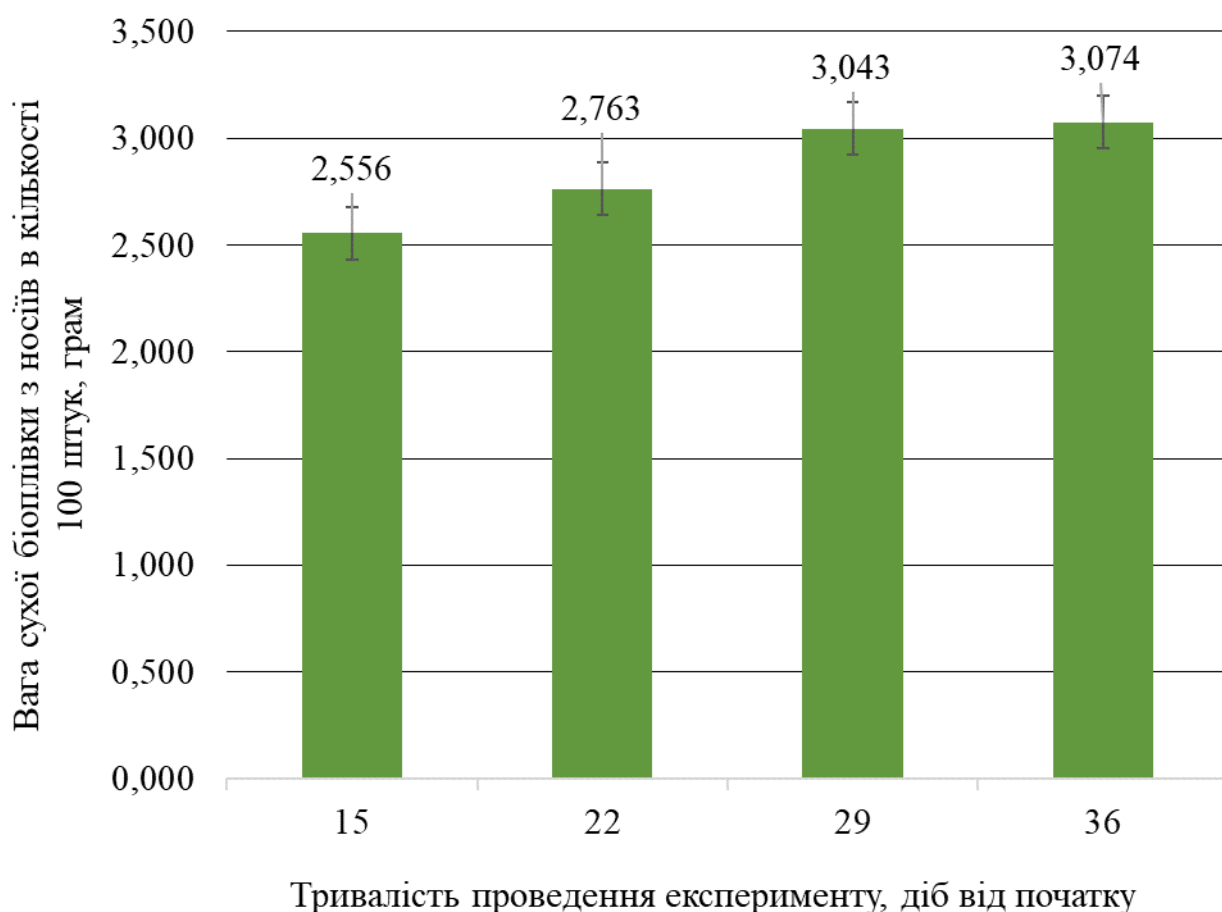


Рисунок 3.3. – Результати динаміки зростання біоплівки на носіях у грамах сухої речовини.

На носіях із 100 штук за період досліджень зросло 0,518 г сухої речовини біоплівки. Товщина біоплівки складала біля 1 мм. Отримане значення маси сухої речовини біоплівки буде використане при кореляції математичних моделей опису процесів системи ІАМФП.

Для систем ІАМФП внесок к процесу окиснення органічних речовин здійснює як активний мул так і біоплівка, що іммобілізована на носіях.

Використовуючи формулу (В.9) [108] визначили значення питомої швидкості окиснення органічних речовин у період досліджень. Результати представлені на рисунку 3.4. Питома швидкість окиснення органічних речовин у період досліджень коливалася у діапазоні 12,6-32,9 мг/(г·годину). Варіації значень швидкості обумовлені тим, що дослідження проводилися на реальних стічних водах.

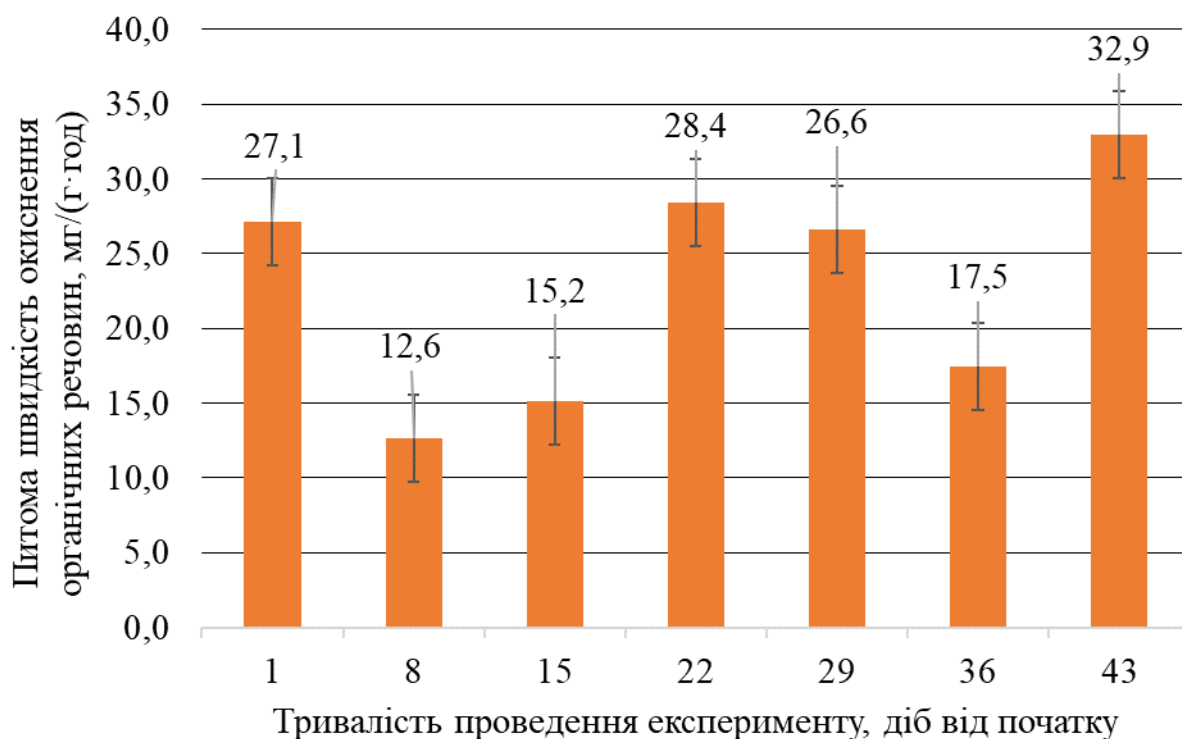


Рисунок 3.4. – Динаміка питомої швидкості окиснення органічних речовин у період досліджень.

Мікробіологічний аналіз був проведений відповідно до методики наведеної у розділі 2.2 для вільноплаваючого активного мулу. Результати аналізу наведено у таблиці 3.2.

Результати мікробіологічного аналізу активного мулу

Мікроорганізми	Бал	Стан	Примітки
<i>Cladotrix dichotoma</i>	V	-	Вода над мулом має дрібну мутність. Мул пухкий. Пластівці мулу дрібні.
Джгутикові	II	активні	
<i>Saccamoeba</i>	II	-	
<i>Yitnotus lamella</i>	IV	активні	
<i>Aspiolisca costata</i>	I	активні	
<i>Vorticella</i>	I	не роздуті, закритий війковий диск	
<i>Epistilies plicatis</i> (10-12 зооїдів)	II	не роздуті, закритий війковий диск	
<i>Monostila</i>	IV	активні 50%	
<i>Philodina</i>	III	активні	
<i>Nematoda</i>	II	не активні	
<i>Aelosoma</i>	III	активні	

Отже, вільно плаваючий активний мул другого реактора має хороші мікробіологічні показники. Більшість мікроорганізмів є активними. Це свідчить про правильність прийнятих рішень під час проектування дослідної установки. Активний мул має хороші властивості з огляду на добре осадження мулу, має міцну та компакту структуру.

3.3 Висновки отриманих результатів досліджень

У магістерській дисертації представлені результати та досвід застосування систем ІАМФП, що виконувала очищення стічних вод міста Рівне.

Експериментальна стратегія була розгорнута на дослідній установці, на які подавалися стічні води населеного пункту, що експлуатуються при температурі 12-20 °С, і коефіцієнтом заповнення носієм 18%.

Були отримані дані про основні показники вхідних та очищених стічних вод, а також про результати вимірювання ключових змінних або параметрів (маса біоплівки, максимальна швидкість). Для дослідження була обрана схема системи ІАМФП на базі БРРЗ в останній частині реактора. Оскільки перший ступінь повинен мати більш високе органічне навантаження, ніж другий ступінь, загальний об'єм поділу об'єму реакторів склав близько 35% на першому ступені реактора і близько 65% на другому ступені.

Концентрація кисню в другому реакторі коливалася в межах 4-6 мг/дм³.

Розроблена конструкція дослідної установки продуктивністю 6-10 м³/добу може використовуватися для очищення стічних вод населених пунктів і забезпечувати ефект очищення БСК₅ понад 90%, амонійний азотом понад 95%.

На носіях 100 штук за період досліджень (21 день) спостерігався ріст біоплівки в 0,518 г сухої речовини біоплівки. Отримані дані є цінними для проектування конструкцій з використанням систем ІАМФП на базі БРРЗ в Україні.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Резюме

Проблема якісного відведення стічних вод характерна для 40% українських домогосподарств, згідно з дослідженням швейцарсько-українського проекту DESPRO [1]. Локальні очисні споруди є вирішенням цієї проблеми, оскільки вони очищають воду в невеликій кількості та розташовані поблизу споживачів.

Технологія, що є в основі даного стартапу є поєднанням очищення побутових стічних вод з отриманням очищеної води для поливу прибудинкових територій та миття автомобільного транспорту. Джерелами сировини є стічна вода від житлового масиву та/або мікрорайону та/або населеного пункту. Споживачем продукції стартапу є об'єднані територіальні громади, підприємства з послуг очищення стічних вод. Конкурентними перевагами є менша площа землі під реалізацію технології, зменшення використання електроенергії станцією очищення стічних вод, ринкова ціна 18,483 грн/м³, період повернення капіталовкладень 6-7 років.

Назва розробки. Біотехнологічне очищення стічних вод населених пунктів з отриманням технічної води для цілей користувача. Скорочена назва «BioL».

Мета проекту: збільшити ефективність очищення стічних вод та зменшити витрати полив насаджень населеного пункту та миття автомобілів.

Об'єкт дослідження: технологія очищення стічних вод, що включає в себе інтегрований активний мул з фіксованою біоплівкою.

Місце в інноваційному ланцюжку цінності розробки: Ідея-розробка. За міжнародною класифікацією товарів продукти відносяться до класу 010636 – вода на промислові потреби [110].

Цінність розробки полягає в екологічному біотехнологічному очищенні стічних вод, в зменшенні використання води на полив не плодкових дерев та миття автомобільного транспорту, компосту для удобрення.

Суспільна цінність полягає у сприянні досягненні цілей сталого розвитку України та світу в частині доступу до сучасних систем водовідведення,

будівництва та реконструкції каналізаційних очисних споруд із застосуванням новітніх технологій та обладнання.

Таблиця 4.1

Резюме стартап-проекту

Показник	Характеристика
1. Сутність ідеї	Очищення стічних вод для поливу неплодових дерев та миття автомобілів, використання компосту
2. Наявність аналогів або прототипів ідеї	Наявні прототипи ідеї очищення стічних вод системами інтегрованого активного мулу та біоплівки [12]
3. Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Очищення води в режимі 24/7/365 в періоди коли стічні води не надходять від об'єкту або навпаки є залпові скиди в короткий період
4. Ступінь розробленості технології реалізації	Проведено виробничі дослідження, які підтверджують ефективність запропонованого рішення
5. Класифікація продукту стартапу за міжнародною класифікацією товарів	1. Вода на промислові потреби (для поливу) – 010636 2. Очищена для скиду у водойми або ґрунт стічна вода – без коду
6. КВЕД, до якого може належати дане виробництво	37.00 Каналізація, відведення й очищення стічних вод [111]
7. Очікувана потужність стартапу	Середнє підприємство
8. За масштабом виробництва	Серійне
9. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільне
10. За ресурсами, що споживатимуться	Працемістке
11. За чисельністю персоналу	Середнє
12. Органи управління при реалізації стартапу	Національні
13. Бажане географічне розташування - потужностей стартапу; - офісу стартапу; - збутової мережі; - постачальників комплектуючих.	- приміські території; - приміські території; - об'єднані територіальні громади; - приміські території.
14. Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу	Впровадження
15. Гранична корисність ідеї стартапу	вода для поливу в сезон поливу (залежить від продуктивності станції); вода для миття автомобілів (залежить від продуктивності станції))
16. Бізнес-модель стартапу	B2B, B2G
17. Конкуренти вітчизняні	ТОВ "UKRBIOTAL", Компанія "ЗІКО"
18. Конкуренти іноземні	PPU Umwelttechnik GmbH

Показник	Характеристика
19. Ключові фактори успіху стартапу	Самозабезпечення технічною водою, компост, екологічність, формування початкового ядра клієнтів, висока якість
20. Споживачі	Об'єднані територіальні громади, підприємства що надають послуги з очищення стічних вод
21. Планова кількість продукту розробки	Сумарна продуктивність станцій не менше 1000 м ³ /добу
22. Мінімальна кількість виробництва за методом точки безбитковості	Сумарна продуктивність станцій не менше 500 м ³ /добу
23. Споживачі на етапі розвитку	Об'єднані територіальні громади
24. Споживачі на етапі зрілості	Об'єднані територіальні громади, підприємства що надають послуги з очищення стічних вод
25. Конкурентна ціна на продукт стартапу	19,776 грн.
26. Плановий рівень рентабельності при реалізації продукту	7 %
27. Капіталовкладення в проект	3930025 грн
28. Період повернення капіталовкладень у проект	6-7 років
29. Джерела фінансування	зовнішні, національне
30. Основні компоненти продукції стартапу (їх доля у готовому товарі, ступінь готовності компонентів у наявному виробництві)	Залізобетон – 75% Активний мул - відсутні у готовому продукті Біоносії - відсутні у готовому продукті Компресор та аератори – 20% Трубопроводи – 5 %
31. Потенційні постачальники складових компонентів розробки (виділити вітчизняних і закордонних)	ТОВ «Побі Вотер Інжиніринг» - компресор та аератори; Київводоканал – активний мул, одноразова закупка; Залізобетон для біореакторів – Промислова-будівельна група «Ковальська».
32. Планове місце реалізації результату розробки	Україна
33. Наявність посередників при реалізації	Виконкоми ОТГ
34. Методи просування результатів розробки на ринок	Створення ядра споживачів, висока якість роботи

4.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу

Зовнішнє середовище безпосередньо не впливає на підприємство, але формує загрози і можливості цього підприємства. До факторів зовнішнього середовища відносимо політику, економіку, демографію, науково-технічний прогрес. Аналіз загроз і можливостей зовнішнього середовища наведений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Аналіз загроз і можливостей зовнішнього середовища

	Можливості	Загрози
Економіка		
1. Наявна нестабільна економічна ситуація	+Збільшується цікавість до технічної води та компосту	- Зменшення бюджету ОТГ - Зростання цін на сировину для стартапу
Політика		
2. Державна підтримка - «зелений» тариф	+ економічна підтримка держави	- більша кількість потенційних конкурентів
3. Обмеження на законодавчому рівні використання хімічних добрив	+ привертання уваги до технології, як такої що дозволяє отримати технічну воду та компост	- порушення логістичних ланцюжків
Науково-технічний прогрес		
4. Відкриття в структурі та функціонування біоплівки	+ збільшення ефективності формування та використання біоплівки	- збільшення працевітності підприємства
5. Розробки інших альтернативних видів енергії	+ привертання уваги на комплексний раціональних рішень	- більша кількість потенційних конкурентів
6. Екологічна криза	+ пошук технологій для зменшення негативного впливу на довкілля	- збільшення вмісту токсикантів у стічних водах, зміни клімату
Демографія		
7. Демографічна криза	+ збільшення тарифів	- зменшення органіки та об'єму стічних вод

До факторів зовнішнього оперативного середовища відносять конкурентів, постачальників, посередників, споживачів. Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища наведений в таблиці 4.3.

Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
Постачальники: Компонентів до біостанцій	Широка мережа постачальників	Компоненти до біостанцій іноземного виробництва тому їх ціна залежить від курсу валют
Споживачі: 1. ОТГ 2. Підприємства з очищення води	Лише 1,9% сільського населення та 87,1% міського використовують станції очищення стічних вод [1]	Обмеження щодо видатків державного бюджету та складна процедура їх розподілу
Посередники: Виконкоми ОТГ	Розуміння потреби вирішення проблеми локальними чи централізованими системами очищення стічних вод	Політичний піар при вирішенні питань
Конкуренти : ТОВ "UKRBIOTAL", Компанія "ЗІКО"	Виробничі потужності та сформовані канали збуту	Потреба переобладнувати виробництво під нові виклики та технології

За результатами аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ формуємо перелік зацікавлених сторін (таблиця 4.4) для визначення потенційних загроз у процесі впровадження розробки, при формуванні ризиків стартап-проекту

Таблиця 4.4

Аналіз зацікавлених сторін

Зацікавлена сторона	Вплив її на реалізацію проекту	Цікавість її до проекту	Загальний коефіцієнт впливу на проект
Суб'єкти зовнішнього оперативного середовища			
Виробник	Очищення стічних вод з одночасним отриманням технічної води та компосту	Отримання прибутку при продажі біостанції та її сервісному обслуговуванні	0,2
Постачальник	Постачання комплектуючих до біостанції	Продаж комплектуючих та отримання прибутку	0,1
Споживачі	ОТГ	Скид стічних вод, отримання технічної води на полив та компосту як добрив	0,2
Посередники	Рішення про виділення коштів	Вирішення екологічних проблем, позитивний розвиток громади	0,4

Зовнішнє середовище			
Політичні структури	Підтримка проектів пов'язаних з сталим розвитком	Збільшення довіри громадян та промисловості	0,005
Суб'єкти економічного середовища (інвестори)	Надання коштів для реалізації проекту	Економічний зиск	0,02
Власники географічних об'єктів	Забезпечення необхідними дозволами на використання стічних вод	Поліпшення екологічної ситуації регіону	0,02
Суб'єкти демографії	Вплив на якість стічної води, яка поступає на водоочисну станцію	Поліпшення екологічної ситуації регіону	0,005
Суб'єкти культурного середовища	Зростання цікавості до природи як об'єкту культури	Поліпшення естетичних властивостей природних об'єктів	0,02
Суб'єкти НТП	Зростання ефективності очищення стічних вод та сталості процесів	Збільшення цікавості до біотехнології, відкриття мембранних технологій	0,02

Аналіз внутрішнього середовища підприємства забезпечує визначення сильних та слабких сторін в процесі реалізації стартап-проекту, що саме буде сприяти забезпеченню розробки, впровадженню, а що створюватиме перешкоди (ризик) в розробці, впровадженні та реалізації ідеї стартап проекту (таблиця 4.5).

Завдяки аналізу переваг та недоліків внутрішнього середовища визначено які переваги сприятимуть впровадженню розробки, а які недоліки створюють ризики та перешкоди реалізації.

До розгляду інвесторам буде запропоновано інноваційну ідею – біостанцію очищення стічних вод, що дозволяє отримати технічну воду для поливу неплодових дерев та миття автомобілів та добрива у вигляді компосту.

Переваги і недоліки внутрішнього середовища

	Переваги	Недоліки
Виробництво	+ ефективне використання виробничих потужностей; + можливість розширення виробничих потужностей; + сприйнятливий середовище для нових розробок;	- дефіцит коштів і дорогий кредит
Персонал	+ власна база перепідготовки кадрів;	- Відносно невисокий рівень мотивації праці
Організація виробництва	+ раціональна організаційна структура; + чіткий поділ праці, професійна спеціалізація; + готовність керівництва до ризику	- Відсутність ефективного менеджменту

4.3 Визначення ключових факторів успіху проекту

На основі аналізу факторів внутрішнього та зовнішнього середовища визначено ключові фактори успіху: ціна (біостанції), термін виконання біостанції, отримання технічної води, отримання компосту. За ключовими факторами успіху проведено оцінку характеристик конкурентів за методом Шонфільда (таблиця 4.6) та з врахуванням коефіцієнтів вагомості (таблиця 4.5).

Таблиця 4.6

Оцінка характеристик за методом Шонфільда

Характеристика	Коефіцієнт вагомості характеристики	Оцінка характеристик		
		BioL	UKRBIOTAL	Зіко
Ціна	0,3	3	5	4
Термін виконання	0,1	4	3	3
Технічна вода	0,2	4	4	2
Компост	0,1	4	3	3
Надійність	0,2	5	3	3

Оцінка характеристик різних методів очищення стічних вод за методом Шонфільда з врахуванням коефіцієнтів вагомості

Характеристика	Коефіцієнт вагомості характеристики	Оцінка характеристик		
		BioL	UKRBIOTAL	Зіко
Ціна	0,3	0,9	1,5	1,2
Термін виконання	0,1	0,4	0,3	0,3
Технічна вода	0,2	0,8	0,8	0,4
Компост	0,1	0,4	0,3	0,3
Надійність	0,2	1	0,6	0,6

На основі отриманих оцінок (балів) побудовано графік порівняння конкурентних переваг підприємства «BioL» з конкурентами (рисунок 4.1).

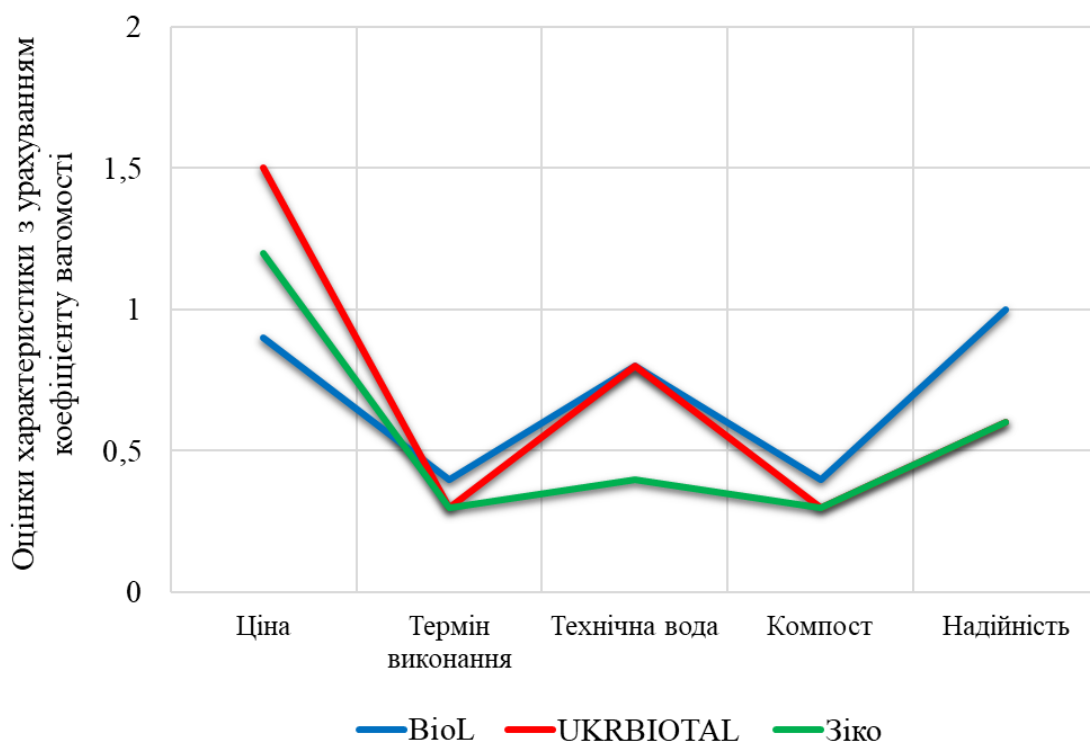


Рисунок 4.1. – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентами.

За рахунок влаштування інтегрованої системи активного мулу та біоплівки в одній споруді біостанції забезпечує вищу надійність процесів очищення стічних вод у різних критичних ситуаціях її роботи. Проте це потребує додаткового часу на виробництво одиниці продукції.

На базі проаналізованих ключових факторів успіху стартап-проекту BioL запропоновано можливі варіанти розвитку інноваційної ідеї (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8

Варіанти розвитку ідеї стартапу

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
1. Акцент на отримання технічної води та компосту	В результаті високоякісних процесів очищення стічних вод та відповідного її знезараження біостанції продукуватиме технічну воду, яку можна використовувати на полив неплодових дерев, що розташовані на території ОТГ та/або миття автомобілів. Мінералізація надлишкового активного мулу дозволить отримати компост, який можна використовувати як добрива для потреб споживача.
2. Акцент на утилізації енергетичного потенціалу стічних вод	Влаштування додаткових модулів, що дозволяють утилізувати тепло стічних вод перед скидом очищених вод або використання їх як технічної вод.

4.4 Визначення потенційних споживачів

Визначимо перспективних споживачів на різних етапах реалізації проекту та бізнес-моделі стартап-проекту, механізмів роботи з клієнтами, обрання моделей інноваційної діяльності. Класифікація потенційних споживачів наведена у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9

Класифікація потенційних споживачів

Критерій	Значення
Юридична особа	
1. Форма власності (державне, приватне, колективне, комунальне, змішане,...)	Приватні, державні
2. КВЕД	37.00 Каналізація, відведення й очищення стічних вод [110]
3. За потужністю	Великі
4. За масштабом виробництва	Масові
5. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільні, багатопрофільні
6. За ресурсами, що споживаються	Працемістки
7. За чисельністю персоналу	Великі, середні
8. За сферою діяльності	Виробничі
9. За приналежністю капіталу і контролю	Національні, спільні
10. За географічним розташуванням	Сільські ОТГ

11. За віддаленістю органів управління	Національні
12. За характером господарської діяльності	Місцевого самоврядування
13. За рівнем технологічної цілісності	Провідні
14. За долею іноземного капіталу	З іноземними інвестиціями
15. За формуванням статутного капіталу	Унітарні та корпоративні
16. За організацією виробничих процесів	Безперервні
17. За роботою протягом року	Позасезонні
18. За географічним розташуванням на території України	
19. За наявністю вільних ОБЗ (коштів)	З наявними вільними ОБЗ
20. За динамікою розвитку регіону розташування юридичної особи: – Регіон – Чисельність населення – Структура регіону	Київська область 1,781 мільйона осіб Об'єднані територіальні громади

Результатом дослідження потреб споживача є формування (обрання) трьох основних груп потенційних клієнтів (виділяють за проблемами, які для конкретної групи вирішує стартап-продукт). Отримані результати систематизують у вигляді таблиці 4.10.

Таблиця 4.10

Основні групи потенційних споживачів і їх потреби

Категорія (група) клієнтів	Потреби, які він задовольняє за допомогою Вашого продукту
1. ОТГ	Безпечне відведення стічних вод
2. Комунальні підприємства ОТГ	Надійне очищення стічних вод в критичних ситуаціях
3. Підприємства, що надають послуги з очищення стічних вод на комерційних засадах	Додаткові технології, що може запропонувати підприємство покупцям
Відкоригована ідея стартап проекту	
Необхідно оцінити енергетичний потенціал стічних вод як джерела теплової енергії	

Для того, щоб конкретизувати потенційного клієнта, формуємо паспорт клієнта – документ, який визначає характерні особливості потенційних клієнтів, їх вимоги до продукту, проблему, яку вони мають бажання розв'язати за допомогою цього продукту (таблиця 4.11).

Паспорт потенційного клієнта

Характеристика	Значення	Примітки
Організаційно-правова форма	Державне	-
Класифікація -за потужністю -за чисельністю персоналу -за обсягом виробництва -за сезонністю виробництва	Малі або середні Малі або середні Малі або середні Сезонні	-
Розташування	Сільське чи міське ОТГ	-
Вид продукту, який потрібен даному споживачеві	Безпечна переробка і скид стічних вод	-
Кваліфікація персоналу підприємства -робочі -службовці -керівники	Професійна освіта Професійна освіта Висококваліфіковані	-
Потенційний обсяг споживання розробки	10 000 м ³ /місяць	-

Визначення потенційного споживача дозволяє сформулювати плановий обсяг реалізації стартап-проекту за місяцями (за перший рік реалізації) – таблиця 4.12.

Таблиця 4.12

Запланований обсяг реалізації стартап-продукту (товарів, послуг)

	Червень, 2023	Липень, 2023	Серпень, 2023	Вересень, 2023	Жовтень, 2023	Листопад, 2023	Грудень, 2023	Січень, 2024	Лютий, 2024	Березень, 2024	Квітень, 2024	Травень, 2024
Запланований обсяг, стічна вода для поливу, тис. м ³	8000	9000	10000	5000	2000	1000	0	0	0	0	0	5000
Запланований обсяг, очищенна стічна вода в водойми, тис. м ³	2000	1000	0	5000	8000	9000	10000	10000	10000	10000	10000	5000
Теплова енергія, МВт	10	10	10	10	20	30	30	30	30	30	20	10

4.5 Ціна інноваційної пропозиції на ринку

Визначення потенційного споживача і його особливостей при прийнятті рішення про придбання стартап-продукту дозволяє визначити ціну пропозиції для ідеї, технології, методики, програми на ринку (таблиця 4.13).

Таблиця 4.13

Проектні ціни продажу стічної води для поливу

Найменування товару	Планові обсяги продажу		Аналоги, прототипи	
	Кількість, од.	Ціна, грн/од.	Кількість, од.	Ціна, грн/од.
Чиста вода	80 000 м ³	18,483 грн	80 000 м ³	19,776
Вода для поливу	40 000 м ³	18,483 грн	40 000 м ³	19,776

Ціну розраховувала за такими основними методами ціноутворення:

1. Витратний метод:

$$Ц = C + W, [\text{грн/од.}], \quad (4.1)$$

де C – прогнозована ціна товару, грн/од.;

C – розрахована автором ідеї очікувана собівартість товару, грн/од.;

W - фіксований відсоток прибутку від собівартості, грн/од.

Ціна на етапі впровадження становить:

$$Ц = 18,483 + 18,483 \cdot 0,05 = 19,407 \text{ грн/м}^3$$

2. Агрегатний метод:

$$Ц = \sum_{i=1}^{i=n} Ц_i, [\text{грн/од.}], \quad (4.2)$$

де C – ціна ідеї, за якою автор пропонуватиме її на ринку, грн/од.;

C_i – ціна i -того компоненту багатокomпонентного товару, грн/од. (всі компоненти наведені в таблиці 4.15);

Ціна на етапі впровадження:

$$Ц = 18,483 \text{ грн/м}^3$$

3. Параметричний метод – враховує вагомість якісних параметрів

$$Ц_{\text{н.м.}} = Ц_{\text{б.м.}} \frac{Б_{\text{н.м.}}}{Б_{\text{б.м.}}}, [\text{грн/од.}] \quad (4.3)$$

де $C_{\text{н.м.}}$ – ціна нової моделі, тобто ідеї, за якою ми пропонуватимемо її на

ринку, грн/од.;

$C_{б.м.}$ – ціна базової моделі, тобто аналогу ідеї, яка вже існує на ринку, грн/од.;

$B_{н.м.}$ – Балова експертна оцінка нової моделі характеристик нової технології;

$B_{б.м.}$ - Балова експертна оцінка базової моделі характеристик існуючої технології.

Таблиця 4.14

Розрахунок ціни параметричним методом

Продукт	Параметри						Бал з коефіцієнтами вагомості
	Технічна вода		Енергія		Компост		
	бали	коефіцієнт вагомості	бали	коефіцієнт вагомості	бали	коефіцієнт вагомості	
Аналог	50	0,2	0	0,4	20	0,4	18
Новий	50	0,2	20	0,4	20	0,4	26

Ціна існуючого продукту: 18,483 грн, таким чином ціна розрахована параметричним методом становить:

$$C_{н.м.} = 18,483 \cdot \frac{26}{18} = 26,697 \text{ грн/м}^3$$

4. Конкурентний метод.

Ціна конкурентів становить 19,776 грн/м³, але зважаючи на те, що технологія ІАФМП має високу надійність, дозволяє отримувати як технічну воду так і компост і в перспективі здійснювати утилізацію енергії стічних вод, то наша ціна може бути вищою за ціну конкурентів на 7%.

5. Метод на основі аналізу точки беззбитковості.

При ціні 19,776 грн/м³ стічної води точка беззбитковості досягається при продажі 50 000 м³ очищеної стічної води (рисунок 4.2).

Визначивши складові калькуляції на розробку і реалізацію ідеї, технології, методики, програми студент оцінює відповідність цієї розробки ціновим рівням ринків обладнання, сировини, робочої сили для втілення проекту. Визначає вартісні показники основних і оборотних засобів проекту. Результати подає у вигляді таблиць 4.16-4.18.

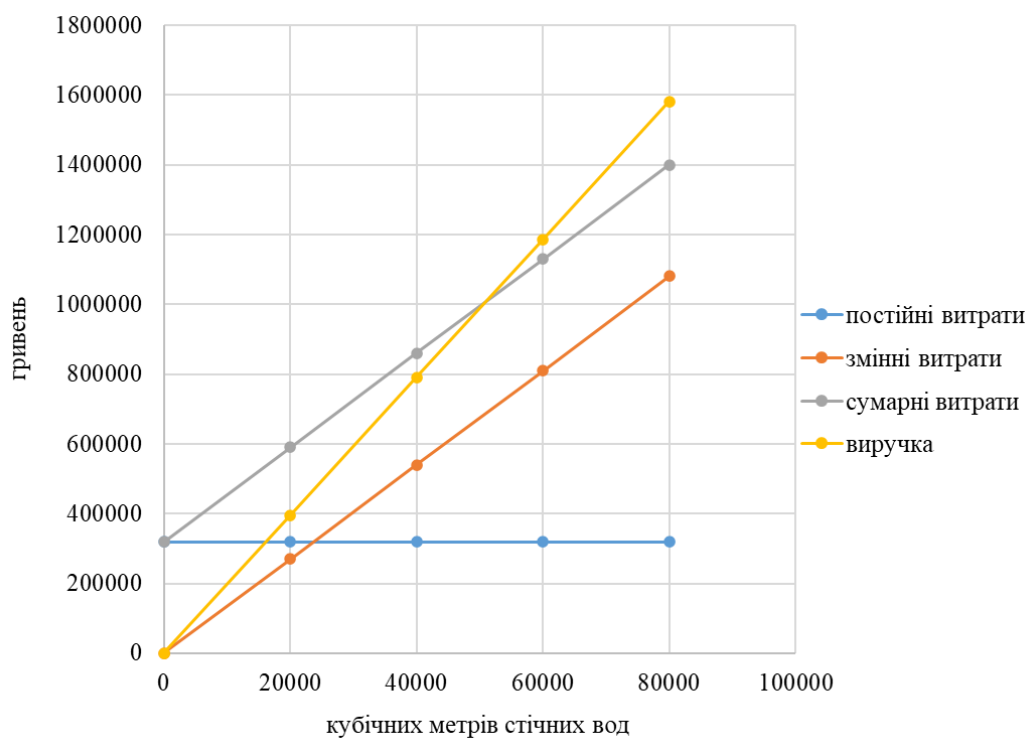


Рисунок 4.2 – Визначення точки беззбитковості графічним методом.

Таблиця 4.15

Калькуляція собівартості стартап-продукт

№ п/п	Етап розробки / елемент собівартості	Кількісний показник	Вартісний показник, грн
Етап впровадження:			
1	<i>Амортизаційні відрахування на утримання усіх ОЗ підприємства:</i>		
	Трубопроводи	1/10 (амортизація ОЗ)	30 000
	Залізобетон для біореакторів	1/10 (амортизація ОЗ)	200 000
	Компресор та аератори	1/10 (амортизація ОЗ)	90 000
2	<i>Затрати на сировину і матеріали:</i>		
	Активний мул	10 м ³	1000
	Електроенергія	120000 МВт	1 450 000
	Компресор	2 шт.	60 000
	Аератор	20 шт.	60 000
	Біоносії	5 м ³	50 000
3	<i>Сума заробітної плати всіх працівників підприємства:</i>	23 особи	227 000
4	<i>Єдиний соціальний внесок (нарахування на заробітну плату):</i>	22%	49 940
	Всього:	-	2 217 940
	На 1 м ³ стічної води:	-	18,483
*Примітка активний мул та водорості у наступних роках використовувати власні			

Таблиця 4.16

Забезпеченість проекту основними засобами (ОЗ)

Місце ОЗ у технологічному процесі	Назва ОЗ	Повна початкова вартість ОЗ	Плановий період експлуатації ОЗ	Очікуваний постачальник	Джерело фінансування придбання
Комунікація очисних споруд	Трубопроводи	300 000 грн.	10 років	ТД «ЄВРОТРУБПЛАСТ»	Кредит
Біохімічне очищення стічної води	Залізобетон для біореакторів	2 000 000 грн.	10 років	Промислова-будівельна група «Ковальська»	Кредит
Біохімічне очищення стічної води	Компресор та аератори	90 000 грн	10 років	ТОВ «Побі Вотер»	Гранти

Таблиця 4.17

Забезпеченість проекту оборотними фондами

Група ОБФ	Назва	Норма витрат на рік, од.	Ціна, грн/од	Очікуваний постачальник	Джерело фінансування
Сировина і матеріали	Активний мул	10 м ³	1 000 грн	ПрАТ АК Київводоканал	Краудфандинг
Паливо, електроенергія	Електроенергія	13 975 МВт	103,75	ПРАТ "ДТЕК Київські електро-мережі"	Тариф
Запасні частини	Компресор	2 шт.	30000 грн	ТОВ «Побі Вотер»	Гранти
	Аератор	20 шт.	3000 грн	ТОВ «Побі Вотер»	Краудфандинг
	Біоносії	5 м ³	10000 грн	ТОВ «Побі Вотер»	Гранти

*Примітка: наступні роки використовувати власний активний мул та нарощену біомасу носіїв

Забезпеченість проекту трудовими ресурсами

Категорія кадрів	Назва посади	Чисельність за списком на посаді	Кваліфікаційні вимоги	Плановий рівень заробітної плати (з ЄСВ)	Джерело фінансування ФОП
Робочі основні	Апаратник очищення стічних вод (8163) [112]	3	Повна загальна середня освіта та професійна підготовка на виробництві, без вимог до стажу роботи [113]	8 000	Прибуток
Робочі допоміжні	Слюсар-електрик (7241)	3	Професійно-технічна освіта	8 000	Прибуток
Спеціалісти	Інженер-технолог (2149.2)	3	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	10 000	Прибуток
	Технік-електрик (3113)	3	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	10 000	Прибуток
	Фахівець з біотехнології (3211)	3	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	10 000	Прибуток
Молодший персонал обслуговування	Лаборант хіміко-бактеріологічного аналізу (8229)	3	Повна загальна середня освіта і професійна підготовка	8 000	Прибуток
Керівники	Начальник зміни	3	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	12 000	Прибуток
	Начальник станції	1	Повна вища освіта відповідного напрямку підготовки (магістр, спеціаліст).	15 000	Прибуток
	Заступник начальника станції	1		14 000	Прибуток

У якості джерел фінансування для підприємства, було обрано такі

запозичені джерела: державні гранти, краудфандинг, вітчизняні кредити фінансових установ, недержавні гранти. Планується, що господарсько-побутові стічні води будуть постачатися безоплатно.

Таблиця 4.19

Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниця виміру	Умовне позначення, формула розрахунку
1. Річний обсяг реалізації ідеї, технології, методики (на період впровадження)	м ³	В 120 000
2. Середньорічна чисельність персоналу за списком	Осіб	Чсп=Чяв×Кпер 7×3+2=23
3. у тому числі	Осіб	
- основних		3 осіб
- допоміжних		3 осіб
- спеціалісти		9 осіб
- молодший персонал обслуговування		3 осіб
- керівники		5 осіб
4. Середньорічний виробіток робітника (на період впровадження)	м ³ /особу	ППс.р.= В/Чсп 120 000/23=5217,39
5. Капіталовкладення у проект (на період впровадження)		К= ОФ+ОбК
- всього	грн.	320000+810500=1 130 500
- на одиницю продукції	грн./м ³	1 130 500/120000=9,420
6. Повна собівартість (на період впровадження):		С= А+ОбК
- всього	грн.	320000+1621000=2 217 940
- на одиницю продукції	грн./м ³	2 217 940/120000=18,482
7. Відносний прибуток (на період впровадження)	грн./м ³	П= Ц-С 19,776-18,483=1,293
8. Рентабельність (на період впровадження)	%	Р= (П/С)×100 1,293/18,482×100=7 %
9. Період повернення капіталовкладень (на період впровадження)	років	Тпов= К/П 1 130 500/(1,293×120000)=7,28
10. Фондовіддача виробничих фондів (на період впровадження)	грн./грн.	ФВ=(Ц×В)/ОФ (1,293×120000)/4000000=0,388
11. Фондоємкість (на період впровадження)	грн./грн.	ФЄ = 1/ФВ 1/0,388=2,57
12. Продуктивність праці (на період впровадження)	$\frac{\text{м}^3}{\text{люд.} \cdot \text{год}}$	ПП= В/(Чсп×Т) 120000/(23×24×365)=0,596
13. Коефіцієнт економічної ефективності (на період впровадження)	-	Е= П/К= (1, 293×120000)/ 1 130 500=0,137

4.6 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів

Мета стартап-проекту – апробація моделі діяльності підприємства при реалізації стартап-проекту у тому числі через формування бізнес-моделі.

Бізнес-модель стартапу можна конкретизувати за допомогою схеми (рисунок 4.3).

Ключові партнери	Ключові види діяльності	Ціннісні пропозиції	Взаємовідносини з клієнтами	Споживчі сегменти
<ul style="list-style-type: none"> Виробники комплектуючих Проектні організації Будівельні організації Роздрібні та оптові будівельні магазини Органи державної влади Екологічна інспекція, будівельна інспекція Заклади вищої освіти 	<ul style="list-style-type: none"> Виробнича діяльність Науково-дослідна діяльність Сервісний центр IT розробки і підтримка мобільного додатку Семінари для проєктувальників та інженерів 	<ul style="list-style-type: none"> Стадії очищення за принципом LEGO Докупувати стадії очищення за потребою Продукт купуєш відразу в магазині (не потрібно чекати поки його виготовлять і доставлять) Інноваційність (менші витрати на експлуатацію, технічна вода та енергія для потреб споживача, площа та санітарна зона) Звіти та консультації через мобільний додаток Екологічно чисті технології 	<ul style="list-style-type: none"> Проектувальники Виконроби, інженери Екологічні спільноти, екоклуби Профільні асоціації бізнесу, органів влади Виставки, семінари, конференції Спільнота Bio4Energy <p>Канали збуту</p> <ul style="list-style-type: none"> Магазини партнерів Прямі канали для сервісу та аксесуарів Сайт, мобільний додаток, соц. мережі Проектні організації Будівельні організації 	<ul style="list-style-type: none"> B2C та B2B, що немає центрального водовідведення поруч B2G (школи, садочки, гуртожитки, університету), що не мають центрального водовідведення поруч
Структура витрат	<ul style="list-style-type: none"> Витрати на розвиток технологій Підтримка мобільного додатку, сайту, спільноти Винагорода проєктантам та інженерам Собівартість біостанції 		Потік доходів	<ul style="list-style-type: none"> Продаж інноваційних біостанцій Оренда біостанцій (час, витрата води) Сервісне обслуговування Комплектуючі

Розробка карти бізнес-процесів стартап-проекту конкретизує етапи, які проходить проєкт від ідеї (думки) до впровадження (продукту) і необхідні для цього ресурси.

Розробили карту бізнес-процесів стартап-проекту (таблиця 4.20). Описали всі етапи, які проходить стартап-проєкт від ідеї до втілення, визначили ресурси (матеріальні, фінансові, людські). Ресурси повинні корелюємо з витратами, які були заплановані при формуванні калькуляції собівартості стартап-проекту.

Карта бізнес-процесів виконання стартап-проекту

Стадія реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат, грн
Етап 1 Розробка ідеї стартапу	Розробка стартап-проекту	Робота розробників	1 місяць	100 000
Етап 2 Реалізація ідеї	Підписання контрактів та договорів	Робота керівництва	2 місяці	4000000
	Закупка матеріалів	Робота керівництва	2 місяці	
	Проведення комунікацій	Робота персоналу	2 місяці	
	Будівництво біостанції на основі технології ІАМФП з добовою витратою 300 м ³ /добу	Робота персоналу	5 місяців	
	Нарощування біоплівки	Робота персоналу	2 місяці	
	Тестування та введення в експлуатацію	Робота персоналу	2 місяці	
Етап 3 Впровадження у виробництво	Будівництво біостанцій на основі технології ІАМФП для ОТГ	Робота керівництва та персоналу	1 рік	810500
	Підписання контрактів та договорів	Робота керівництва	1 рік	
	Маркетингова кампанія	Робота керівництва	1 рік	
	Розроблення сторінки клієнта на сайті	Робота керівництва та персоналу	1 рік	
Етап 4 Масова реалізація	Будівництво біостанцій на основі технології ІАМФП для ОТГ	Робота керівництва та персоналу	1 рік	3000000
	Підписання контрактів та договорів	Робота керівництва	1 рік	
	Сервісне обслуговування біостанцій	Робота персоналу	1 рік	
	Маркетингова кампанія	Робота керівництва та персоналу	1 рік	

На основі визначених етапів визначаємо відповідальних за реалізацію бізнес-процесів стартап-проекту (таблиця 4.21), визначаємо кадрові потреби стартап-проекту на кожному з цих процесів.

Таблиця 4.21

Системний аналіз бізнес-процесів стартапу

Функції	Елементи						
	Розробник	Начальник станції	Заступник начальника станції	Начальник зміни	Спеціалісти	Робочі допоміжні	Робочі основні
Розробка стартап-проекту	+	-	-	-	-	-	-
Підписання контрактів та договорів	+	+	+	-	-	-	-
Закупка матеріалів	+	+	+	-	-	-	-
Проведення комунікацій	-	-	-	-	+	+	-
Будівництво біостанції на основі технології ІАМФП з добовою витратою 300 м ³ /добу	-	-	-	-	+	+	-
Нарощування біоплівки	-	-	-	-	+	+	+
Тестування та введення в експлуатацію	-	-	-	+	+	+	+
Будівництво біостанцій на основі технології ІАМФП для ОТГ	-	+	+	+	+	+	+
Підписання контрактів та договорів	-	+	+	-	-	-	-
Маркетингова кампанія	+	-	-	-	+	-	-
Розроблення сторінки клієнта на сайті	+	-	-	-	+	-	-
Будівництво біостанцій на основі технології ІАМФП для ОТГ	-	+	+	+	+	+	+

4.7 Ризики стартап-проекту та методи управління ними

Для формування переліку ризиків проводимо їх ідентифікацію. Для цього використовуємо класифікацією ризиків за категоріями: зовнішні (це потенційні події, які є зовнішніми щодо проекту та ймовірність виникнення яких не пов'язана з виконанням суб'єктами відповідних процесів, операцій); внутрішні (це потенційні події, ймовірність виникнення яких безпосередньо пов'язана з виконанням суб'єктами відповідних процесів, операцій).

Ризики інноваційної розробки

Назва процесу / стадії реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Розробка ідеї стартапу	Розробка стартап-проекту	-	-
Реалізація ідеї	Підписання контрактів та договорів	Формування бюджету ОТГ	-
	Закупка матеріалів	Ріст цін	-
	Проведення комунікацій	Ріст цін	Відсутність ефективного менеджменту
	Будівництво біостанції на основі технології ІАМФП з добовою витратою 300 м ³ /добу	Відведення земельної ділянки, Дозвіл на скид очищених стічних вод	Дефіцит коштів і дорогий кредит
	Нарощування біоплівки	Залпові надходження	Відносно невисокий рівень мотивації праці
	Тестування та введення в експлуатацію	Наявність електроенергії	Дефіцит коштів і дорогий кредит
Впровадження у виробництво	Будівництво біостанцій на основі технології ІАМФП для ОТГ	Відведення земельних ділянок, Дозвіл на скид очищених стічних вод	Відносно невисокий рівень мотивації праці
	Підписання контрактів та договорів	Формування бюджету ОТГ	-
	Маркетингова кампанія	Відтік професійних маркетологів за кордон	Дорога вартість якісної кампанії
	Розроблення сторінки клієнта на сайті	-	Дорога вартість розробки
Масова реалізація	Будівництво біостанцій на основі технології ІАМФП для ОТГ	Політична та безпекова ситуація, Дозвіл на скид очищених стічних вод	Відносно невисокий рівень мотивації праці
	Підписання контрактів та договорів	Формування бюджету ОТГ	-
	Сервісне обслуговування біостанцій	-	Відносно невисокий рівень мотивації праці
	Маркетингова кампанія	Відтік професійних маркетологів за кордон	Дорога вартість якісної кампанії

За впливом на очікуваний результат ризики оцінюються за критеріями:

- низького рівня впливу – це ризики, вплив яких є мінімальним та/або невеликої тяжкості;
- середнього рівня впливу – це ризики, вплив яких є середньої тяжкості;
- високого рівня впливу – це ризики, вплив яких є тяжким та/або особливо тяжким.

Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання наведені у таблиці 4.23.

Таблиця 4.23

Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання

Види ризиків	Назва ризику	Ймовірність настання	Вплив на очікуваний результат
Зовнішні ризики			
Економічні	Формування бюджетів ОТГ в умовах воєнного стану	Середня	Середня
	Зростання цін на сировину для стартапу	Висока	Середній
Політичні	Більша кількість потенційних конкурентів	Низька	Низький
	Привертання уваги до використання технічної води та компосту	Середня	Низький
Демографічні	Внутрішня міграція та її вплив на формування складу та кількості стічних вод	Висока	Середній
Науково-технічний прогрес	Збільшення працемісткості підприємства	Низька	Низький
	Більша кількість потенційних конкурентів	Низька	Низький
	Зміни клімату	Середня	Середній
Внутрішні ризики			
Виробничі	Дефіцит коштів і дорогий кредит	Висока	Високий
Персонал	Відносно невисокий рівень мотивації праці	Середня	Середній
Організація виробництва	Відсутність ефективного менеджменту	Низька	Низький

Враховуючи матрицю оцінки ризиків визначено ризики які знаходяться в червоній зоні ризику та запропоновано план заходів з управління ризиками (таблиця 4.24).

План заходів з управління ризиками

Назва ризику	Назва методу управління ризиком	Відповідальні виконавці	Період виконання / застосування методу	Очікувані результати від впровадження методів управління
Зростання цін на сировину для стартапу	Пошук альтернативних постачальників сировини	Керівництво	2 місяці	Зменшення ціни на сировину, зменшення собівартості
Дефіцит коштів і дорогий кредит	Пошук інвесторів, отримання кредитів в різних банках	Керівництво	2 місяці	Подолання дефіциту коштів

Планується здійснити такі види страхування:

- Договір на закупку та налаштування обладнання необхідного для реалізації проекту
- Власної фірми від впливу різних несприятливих факторів (пожежа, відключення електроенергії і ін.)
- Різні соціальні страхування співробітників підприємства.

5 Охорона праці та навколишнього середовища

Правовий базис в системі охорони праці. Під час нормальної роботи та обслуговування кожної виробничої системи виникають численні ситуації, які можуть спровокувати аварію. З цієї причини дуже важливо оцінити можливість виникнення помилок або діяльності, схильної до помилок. Будь-яку загрозу безпеці співробітників необхідно передбачити та ідентифікувати для полегшення усунення. Під час проведення всіх етапів очищення стічної води, працівники на об'єктах, повинні виконувати ряд операцій, лабораторних і фізичних робіт.

Підприємці та промислові виробники в Україні опираються на Водний кодекс України, закони "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", "Про охорону праці" при технічній експлуатації систем для очищення води та водовідведення. Врегулювання питань безпеки також здійснюється відповідно до законів "Про питну воду та питне водопостачання", "Про охорону праці" та Державних будівельних норм. Охорона навколишнього середовища регулюється законами "Про охорону навколишнього природного середовища", встановленими нормами скиду у водойми тощо.

До виконання робочих обов'язків у колодязях очисних комунікацій, водопровідних камерах, у каналізаційних мережах допускаються лише спеціалісти, кваліфіковані кадри від 18 років, робота виконується під обов'язковим наглядом інженерно-технічного працівника (відповідно до НПАОП 41.01.0179 «Правила техніки безпеки при експлуатації систем водопостачання і водовідведення населених пунктів»). Під час виконання робіт працівники цих заводів зазнають низку небезпек. Небезпечні види діяльності включають: роботу в замкнутому просторі, підйом важких предметів,

використання драбин і сходинок, робота в зоні з випарами, робота з електроустановками тощо. Небезпека становить собою шум, рухомі механічні вузли, джерела електрики, хімічні речовини, гази, пари, аерозолі, погану вентиляцію.

Загальні заходи захисту включають: обов'язкові огорожі навколо небезпечних ділянок, системи захисту від пожежі та вибуху, етикетки що попереджають про небезпеку, промислова система вентиляції, достатнє освітлення, відповідний простір для обробки, легкий доступ, відповідна робоча температура тощо.

Для максимального захисту працівники, які працюють на очисних станціях можуть додатково отримати вакцини проти гепатиту А та В, грипу, краснухи, правця, кору, епідемічного паротиту тощо.

При визначенні самих заходів для безпеки та охорони праці потрібно дотримуватись настанов і правил Закону України "Про охорону праці", для приміщень, освітлення, вентиляції тощо - ДБН А.3.2-2, НПАОП 40.1-1.21, НПАОП 45.23-1.09, НПАОП 0.00-1-23, іншої нормативної документації та з охорони праці, а також настанов цих будівельних норм (5.3, 8.7.1, 8.7.3, 8.8.5, 8.11.7, 8.13.11, 9.1.32, 9, 10.2.1.3, 10.6.5, 14.4 тощо).

За класифікацією по рівню небезпеки роботи у колодязях очисних комунікацій, водопровідних камерах, у каналізаційних мережах, що є складовими централізованих систем очисної станції належать до робіт з підвищеним рівнем небезпеки.

Електробезпека на очисних станціях. Привідний механізм муловідсмоктувачів радіальних вторинних відстійників (редуктор з електродвигуном), а також ферма і рейкове коло заземлюються відповідно до ДБН В.2.5-27-2006 Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. Заходи для забезпечення безпечної роботи з електрикою окрім

заземлення передбачають використання ізоляції деталей по яких проходить струм, автоматичних систем захисного відключення, встановлення знаків безпеки, попереджувальних сигналізацій в разі аварії, попереджувальних плакатів на спорудах, дверях тощо. Автоматизація очисної станції також передбачає захист від коротких замикань за допомогою автоматичних вимикачів струму.

Обертіві частини з приводних механізмів мулососів (зубчасті колеса, муфти тощо) – мають бути захищеними кожухом. Для проведення робіт з ремонту та встановлення устаткування спочатку необхідно звільнити їх від води, теж саме стосується комунікацій. Не дозволяється під час роботи змащувати, очищати або фарбувати привідний механізм радіального вторинного відстійника або мулоущільнювача. Заборонено ходити по стінках каналів або по бортах відстійника і по трубах повітропроводів на майданчику аеротенків, виходити за спеціальні огороження. Загалом, технічні заходи для забезпечення електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці; Електробезпека; Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.

Система проводів для приєднання електроприладів та/або пристроїв до мережі має бути встановлена згідно з ДБН В.2.5-28, відповідати нормам по складу та комплектації та забезпечувати максимально високий рівень надійності при експлуатації. Найбільш безпечно використовувати комплексні системи, що реалізуються разом з механізмами, пристроями тощо.

Правила безпечного відбору проб. Очищення поверхонь аеротенків, а також відбір проб води або осаду (шламу) варто робити тільки зі спеціально влаштованих і огорожених проходів із землі. Для відкривання й закриття засувки при випуску мулу із вторинних відстійників і мулоущільнювачів варто користуватися штангою-виделкою, виносним пультом керування, засувками з дистанційним приводом або іншими спеціальними пристроями, що виключають

необхідність опускання людини в колодязь.

Пробовідбірник і персонал, що працює з активним мулом, в цілях профілактики повинен приймати антигельмінтні препарати. Після відбору персонал ретельно миє руки водою з миючим засобом та протирає руки розчином етилового спирту для обеззараження [114]. Під час відбору проб активного мулу, стічної води, персонал має бути одягненим у засоби для індивідуального захисту (ЗІЗ). ЗІЗ може бути представлений спецодягом, взуттям, гумовими рукавицями, респираторами або противогазами. Місця/майданчики для відбору проб мають бути промарковані та огорожені. Також вони мають бути забезпечені високою освітленістю, якщо виявлені слизькі місця, вони мають бути спеціально оброблені або помарковані з подальшою ліквідацією.

Природна, примусова вентиляція та мікроклімат на робочому місці.

Природна та примусова вентиляція згідно з санітарно-гігієнічними вимогами забезпечує зручні метеорологічні умови праці в приміщеннях, які підлягають нормуванню (швидкість руху повітря, середньодобову температуру, рівень вологості). Ефективна вентиляція повністю вилучає з приміщень можливі шкідливі гази, пил, пару або аерозолі, якщо не передбачено видалення система розчиняє їх до гранично допустимих концентрацій. Тому, за правилами охорони праці, вентиляція має бути доступною для ремонту та корекції при експлуатації. Не має створювати додаткових незручностей у вигляді шуму, віброшуму, вібрацій, попадання в приміщення дощу чи снігу [114].

Якщо на кожного робітника під час виробничих процесів припадає 100 м² або більше площі підлоги, то нормована температура, значення відносної вологості і швидкість руху повітря можуть забезпечуватися тільки на постійних робочих місцях. Прийнятний за нормами мікроклімат у виробничих та побутових приміщеннях має перевищувати температуру взимку – 20, але не бути вище 22°C, влітку - 20-25°C, для виробничих приміщень показники дещо нижчі

– температура не має бути нижче 16°C та не має перевищувати 25°C. Вологість 40-61%, мінімум для виробничих приміщень - 30% [114].

Загалом системи опалення, вентиляції, природного та штучного освітлення, регламентуються П-4-79 «Природне та штучне освітлення», ДБН В.2.5-67:2013, ДБН В 1.1-7-2002 і ДС 12.3.006-75. На випадок аварійного відключення освітлення на робочому місці передбачають освітлення акумуляторними ліхтарями, що мають напругу не більше 42 В.

Шум та вібрація як небезпечні явища на системах водовідведення. На галузевих об'єктах очисних станцій часто використовуються компресорні станції, електродвигуни, насоси, вібратори, дробарки та деякі інші машини й механізми, які є джерелами появи сильного звукового поля. Боротьба з шумом на очисних станціях реалізується сукупністю методів і засобами індивідуального захисту працівників. Більш ефективними є заходи, направлені на зниження рівня шуму ще в джерелі його виникнення. При розробці заходів з захисту від шуму визначають спочатку звукову потужність машин, визначають рівні звукового тиску на робочому місці, далі підбирають пристрої для захисту від шуму й розраховують їх відповідно до рівнів звуку та звукового тиску, для яких встановлені певні норми [115].

На виробничих об'єктах водопровідно-каналізаційних систем для боротьби з шумом проводиться низка заходів, основним з яких є усунення джерела, причини шуму або його ослаблення ще в процесі проектування технологічних процесів і конструювання споруд й обладнання. Не менш важливою є ізоляція джерел шуму від навколишнього середовища засобами звуко- і вібропоглинання та звуко- і віброізоляції. Враховуються також параметри, для зменшення густини звукової енергії виробничих приміщень, що відбивається від стін, обладнання тощо. Робітники захищають себе шляхом використання ЗІЗ, у разі порушення проводяться профілактичні заходи, що мають медичний характер [116].

Пожежна безпека. На весь комплекс та на кожну очисну споруду мають бути складені виробничий регламент та технологічні карти. На кожен об'єкт мають бути розроблені спеціальні інструкції щодо заходів пожежної безпеки.

Проходи та сходи не повинні бути загородженими будь-якими предметами, залиті водою, мастилом тощо. Сходи та майданчики для обслуговування місткостей та інших апаратів повинні мати надійні поручні та огороження. У приміщеннях очисних споруд, де можливе раптове надходження у повітря великої кількості токсичних та вибухонебезпечних речовин, має передбачатися аварійна витяжна вентиляція. У цих приміщеннях повинні встановлюватись автоматичні газоаналізатори, що зблоковуються з аварійною системою вентиляції [116].

У всіх виробничих приміщеннях та зонах повинні бути первинні засоби для пожежогасіння та пожежний інвентар. На станціях очищення води робітники мають бути проінструктовані про заборону використання засобів пожежогасіння та пожежного інвентарю для будь-яких побутових цілей. Суворо заборонено куріння у приміщеннях та на території розміщення очисних споруд. У всіх виробничих цехах або приміщеннях повинен бути визначений клас вибухонебезпечності, він встановлюється відповідно до положення Технічного регламенту вимог пожежної безпеки. Вся апаратура в цих приміщеннях встановлюється у вибухозахищеному виконанні відповідно до категорії та групи вибухонебезпечності. Територія розміщення очисних споруд має утримуватись у чистоті, те саме стосується території водозабору. У літню пору на вільній території регулярно проводиться скошування трави та прибирання території від горючих відходів [116].

ВИСНОВКИ

Отримані експериментальні результати демонструють можливість використання інтегрованих систем, що використовують вільноплаваючий активний мул та біоплівку, що іммобілізована на вільноплаваючих носіях для ефективного очищення стічних вод згідно встановлених вимог.

1) Проаналізовано сучасний стан розробки та охарактеризовано біоплівкові реактори та інтегровані реактори з активним мулом та біоплівкою на носіях. Дані технології мають ряд переваг які варто використати при модернізації каналізаційних очисних споруд. Визначено параметри та фактори, що впливають на роботу таких інтегрованих систем очищення стічних вод, проаналізовані результати досліджень на основі яких сформована мета та задачі досліджень власних досліджень;

2) Розроблено конструкцію дослідної установки продуктивністю 6-10 м³/добу для дослідження біотехнологічних параметрів формування біоплівки на носіях, оцінки біоценозу активного мулу при її роботі на реальних стічних водах міста Рівне. Об'єм першого реактора дослідної установки склав 35%, а другого реактора 65% відповідно до загального об'єму реакторів дослідної установки;

3) Проведено дослідження ефективності очищення стічних вод від органічних речовин (БСК₅ на вході 156-254 мг/л) та амонійного азоту (концентрація на вході 46,5-77,6 мг/л) при температурі стічних вод 12-20 °С, і коефіцієнтом заповнення біореактора носієм 18%. Концентрація кисню в другому реакторі становила 4-6 мг/л;

4) Визначено можливість застосування біотехнології очищення стічних вод інтегрованою системою з вільноплаваючим активним мулом та біоплівкою іммобілізованою на вільноплаваючих носіях для очищення стічних вод

населених пунктів при цьому ефект очищення за БСК₅ склав понад 90%, за амонійний азотом понад 95%

5) Проведено дослідження динаміки росту біоплівки на вільноплаваючих носіях та формування біоценозу активного мулу в процесі очищення. Отримані дослідні результати – на носіях у кількості 100 штук за період досліджень (21 день) було культивовано 0,518 г біоплівки за сухою речовиною. ;

6) Розроблено стартап-проект біотехнологічного очищення стічних вод системою ІАМФП, що дозволяє забезпечити виконання вимог до очищення стічних вод, отримати технічну воду для цілей користувача та компост. При цьому ринкова ціна очищення стічних вод складу 18,483 грн/м³ та періодом повернення капіталовкладень 6-7 років;

7) Результати магістерської дисертації впроваджені у виробничій діяльності ТОВ «Побі Вотер Інжиніринг».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Водовідведення в селах [Електронний ресурс] // DESPRO. Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні». – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://despro.org.ua/detsentral%D1%96zovan%D1%96-poslugi/vodov-dvedennya-y-selakh/>
2. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. – 178 с.
3. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод: Навчальний посібник. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. – 622 с.
4. B. Rusten, B. Eikebrokk, Y. Ulgenes, E. Lygren Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors *Aquacult. Eng.*, 34 (2006), pp. 322-331, 10.1016/j.aquaeng.2005.04.002.
5. Alessandro di Biase, Maciej S. Kowalski, Tanner R. Devlin, Jan A. Oleszkiewicz, Moving bed biofilm reactor technology in municipal wastewater treatment: A review, *Journal of Environmental Management*, Volume 247, 2019, PP 849-866, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.053> .
6. Mannina G., Ekama G., Ødegaard H., Gustaf O. *Advances in wastewater treatment*. London : IWA Publishing. 2018. 396 p.
7. Dezotti Márcia, Lippel Geraldo, Bassin João Paulo. *Advanced biological processes for wastewater treatment*. Springer, Ísviçre. doi, 2018, 10: 978-3.
8. Biswas Kristi, Taylor Michael W., Turner Susan J. Successional development of biofilms in moving bed biofilm reactor (MBBR) systems treating municipal wastewater. *Applied microbiology and biotechnology*, 2014, 98.3: 1429-1440.
9. Ødegaard Hallvard. A road-map for energy-neutral wastewater treatment plants of the future based on compact technologies (including MBBR). *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2016, 10.4: 1-17.

10. Dias Joana, et al. Impact of carrier media on oxygen transfer and wastewater hydrodynamics on a moving attached growth system. *Chemical Engineering Journal*, 2018, 351: 399-408.
11. D. Forrest, R. Delatolla, K. Kennedy. Carrier effects on tertiary nitrifying moving bed biofilm reactor : an examination of performance, biofilm and biologically produced solids, vol. 3330 (2016), [10.1080/09593330.2015.1077272](https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1077272)
12. Ødegaard H. The moving bed biofilm reactor. *Water Environmental Engineering and Reuse of Water*. 1999. 250-305.
13. Torresi Elena, et al. Diffusion and sorption of organic micropollutants in biofilms with varying thicknesses. *Water research*, 2017, 123: 388-400. [10.1016/j.watres.2017.06.027](https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.027)
14. Flemming, H. C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Rice, S. A., & Kjelleberg, S. Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nature Reviews Microbiology*, 14(9), 2016. 563-575. [10.1038/nrmicro.2016.94](https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.94)
15. Zhu, Y., Zhang, Y., Ren, H. Q., Geng, J. J., Xu, K., Huang, H., & Ding, L. L. Physicochemical characteristics and microbial community evolution of biofilms during the start-up period in a moving bed biofilm reactor. *Bioresource technology*, 180, 2015. 345-351. [10.1016/j.biortech.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.006)
16. Donlan Rodney M. Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging infectious diseases*, 2002, 8.9: 881.
17. C. Nicolella, M.C.M. Loosdrecht, Van, J.J. Heijnen Wastewater treatment with particulate biofilm reactors, vol. 80 (2000), pp. 1-33, [10.1016/S0168-1656\(00\)00229-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(00)00229-7).
18. Liu Y., Tay J.-H. Metabolic response of biofilm to shear stress in fixed-film culture. *Journal of applied microbiology*, 2001, 90.3: 337-342.
19. Li Chunyan, et al. Investigating biofilm structure developing on carriers from lab-scale moving bed biofilm reactors based on light microscopy and optical coherence

tomography. *Bioresource technology*, 2016, 200: 128-136.

[10.1016/j.biortech.2015.10.013](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.013)

20. Ødegaard Hallvard. Innovations in wastewater treatment: – the moving bed biofilm process. *Water science and technology*, 2006, 53.9: 17-33.

[10.2166/wst.2006.284](https://doi.org/10.2166/wst.2006.284)

21. Ødegaard H. Compact wastewater treatment with MBBR. Proceedings International DSD Conference on Sustainable Stormwater and Wastewater Management, 12–14 November 2014, Hong Kong.

<http://www.dsdc2014.hk/program2.html>.

22. Rusten B., Wien A. and Skjefstad J. Spent aircraft deicing fluid as external carbon source for denitrification of municipal wastewater: From waste problem to beneficial use. 51. Purdue Ind. Waste Conf. Proc., Ann Arbor Press, Inc., Chelsea 1996, Michigan.

23. Melin E., Helness H., Kenakkala T. and Ødegaard H. High-rate wastewater treatment based on moving bed biofilm reactor, polymer coagulation and flotation. In: *Chemical water and wastewater treatment VIII*, H. H. Hahn, E. Hoffmann and H. Ødegaard (eds), IWA Publishing, London, 2004. pp. 39–48.

24. Jabari Pouria, Munz Giulio, Oleszkiewicz Jan A. Selection of denitrifying phosphorous accumulating organisms in IFAS systems: comparison of nitrite with nitrate as an electron acceptor. *Chemosphere*, 2014, 109: 20-27.

25. Mannina Giorgio. Erratum to: *Frontiers in Wastewater Treatment and Modelling*. In: *Frontiers International Conference on Wastewater Treatment and Modelling*. Springer, Cham, 2017. p. E1-E1.

26. Arias A., et al. An innovative wastewater treatment technology based on UASB and IFAS for cost-efficient macro and micropollutant removal. *Journal of Hazardous Materials*, 2018, 359: 113-120.

27. Moretti Paul, et al. Understanding the contribution of biofilm in an integrated fixed-film-activated sludge system (IFAS) designed for nitrogen removal. *Water Science and Technology*, 2015, 71.10: 1500-1506.
28. Wang Xue-Jiang, et al. Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor. *Process Biochemistry*, 2006, 41.4: 824-828.
29. Di Biase Alessandro, et al. Moving bed biofilm reactor technology in municipal wastewater treatment: A review. *Journal of environmental management*, 2019, 247: 849-866.
30. Trapani Daniele Di, et al. Quantification of kinetic parameters for heterotrophic bacteria via respirometry in a hybrid reactor. *Water Science and Technology*, 2010, 61.7: 1757-1766.
31. Rosso Diego, et al. Oxygen transfer and uptake, nutrient removal, and energy footprint of parallel full-scale IFAS and activated sludge processes. *Water Research*, 2011, 45.18: 5987-5996.
32. Mannina Giorgio, Viviani Gaspare. Hybrid moving bed biofilm reactors: an effective solution for upgrading a large wastewater treatment plant. *Water Science and Technology*, 2009, 60.5: 1103-1116.
33. Bai Yang, et al. Enhancing nitrogen removal efficiency and reducing nitrate liquor recirculation ratio by improving simultaneous nitrification and denitrification in integrated fixed-film activated sludge (IFAS) process. *Water science and technology*, 2016, 73.4: 827-834.
34. Boltz Joshua P., et al. Modeling integrated fixed-film activated sludge and moving-bed biofilm reactor systems I: Mathematical treatment and model development. *Water Environment Research*, 2009, 81.6: 555-575.
35. Kim Hyun-su, et al. Comparison of conventional and integrated fixed-film activated sludge systems: Attached-and suspended-growth functions and quantitative

polymerase chain reaction measurements. *Water Environment Research*, 2011, 83.7: 627-635.

36. Waqas Sharjeel, Bilad Muhammad Roil. A review on rotating biological contactors. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 2019, 4.2: 241-256.

37. Leyva-Díaz J. C., Et al. Comparative kinetics of hybrid and pure moving bed reactor-membrane bioreactors. *Ecological engineering*, 2014, 70: 227-234.

38. Albizuri J., Van Loosdrecht M. C. M., Larrea L. Extended mixed-culture biofilms (MCB) model to describe integrated fixed film/activated sludge (IFAS) process behaviour. *Water Science and Technology*, 2009, 60.12: 3233-3241.

39. Mahendran Basuvaraj, Lishman Lori, Liss Steven N. Structural, physicochemical and microbial properties of flocs and biofilms in integrated fixed-film activated sludge (IFFAS) systems. *Water Research*, 2012, 46.16: 5085-5101.

40. Liu Yu, Tay Joo-Hwa. The essential role of hydrodynamic shear force in the formation of biofilm and granular sludge. *Water research*, 2002, 36.7: 1653-1665.

41. Ødegaard H. New applications for MBBR and IFAS systems. In: *Frontiers International Conference on Wastewater Treatment and Modelling*. Springer, Cham, 2017. p. 499-507.

42. Sharjeel Waqas, Muhammad Roil Bilad, Zakaria Man, Yusuf Wibisono, Juhana Jaafar, Teuku Meurah Indra Mahlia, Asim Laeeq Khan, Muhammad Aslam, Recent progress in integrated fixed-film activated sludge process for wastewater treatment: A review, *Journal of Environmental Management*, Volume 268, 2020, 110718, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110718>.

43. Kim Hyun-Su, Et al. Effects of integrated fixed film activated sludge media on activated sludge settling in biological nutrient removal systems. *Water research*, 2010, 44.5: 1553-1561.

44. Di Trapani Daniele, et al. Comparison between hybrid moving bed biofilm reactor and activated sludge system: a pilot plant experiment. *Water Science and Technology*, 2010, 61.4: 891-902.
45. Mannina Giorgio, et al. Modelling and dynamic simulation of hybrid moving bed biofilm reactors: model concepts and application to a pilot plant. *Biochemical engineering journal*, 2011, 56.1-2: 23-36.
46. Sriwiriyarat Tongchai, et al. Stability and capacity enhancements of activated sludge process by IFAS technology. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2008, 43.11: 1318-1324.
47. Bassin J. P., et al. Effect of increasing organic loading rates on the performance of moving-bed biofilm reactors filled with different support media: Assessing the activity of suspended and attached biomass fractions. *Process Safety and Environmental Protection*, 2016, 100: 131-141.
48. Leyva-Díaz J. C., Et al. Comparative kinetic study between moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor and membrane bioreactor systems and their influence on organic matter and nutrients removal. *Biochemical Engineering Journal*, 2013, 77: 28-40.
49. Martín-Pascual J., Et al. Effect of the filling ratio, MLSS, hydraulic retention time, and temperature on the behavior of the hybrid biomass in a hybrid moving bed membrane bioreactor plant to treat urban wastewater. *Journal of Environmental Engineering*, 2015, 141.7: 04015007.
50. Mannina Giorgio, et al. The influence of solid retention time on IFAS-MBR systems: analysis of system behavior. *Environmental technology*, 2019, 40.14: 1840-1852.
51. Xu, S., Bernards, M., & Hu, Z. Evaluation of anaerobic/anoxic/oxic (A2/O) and reverse A2/O processes in biological nutrient removal. *Water Environment Research*, 86(11). 2014. 2186-2193. doi:10.2175/106143014X14062131178394

52. Ødegaard Hallvard, Rusten B., Westrum T. A new moving bed biofilm reactor-applications and results. *Water Science and Technology*, 1994, 29.10-11: 157.
53. Hooshyari B., Azimi A., Mehrdadi, N. Kinetic analysis of enhanced biological phosphorus removal in a hybrid integrated fixed film activated sludge process. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2009, 6.1: 149-158.
54. Sriwiriyarat Tongchai, Randall Clifford W. Evaluation of integrated fixed film activated sludge wastewater treatment processes at high mean cells residence time and low temperatures. *Journal of environmental engineering*, 2005, 131.11: 1550-1556.
55. Sriwiriyarat T., Randall C. W. Performance of IFAS wastewater treatment processes for biological phosphorus removal. *Water Research*, 2005, 39.16: 3873-3884.
56. Li Lu, Suwanate Siwaporn, Visvanathan C. Performance evaluation of attached growth membrane bioreactor for treating polluted surface water. *Bioresource Technology*, 2017, 240: 3-8.
57. Mannina Giorgio, Et al. The effect of the solids and hydraulic retention time on moving bed membrane bioreactor performance. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 170: 1305-1315.
58. Krampe Jörg, Krauth Karlheinz. Oxygen transfer into activated sludge with high MLSS concentrations. *Water Science and Technology*, 2003, 47.11: 297-303.
59. Di Trapani Daniele, et al. Performance of a hybrid activated sludge/biofilm process for wastewater treatment in a cold climate region: Influence of operating conditions. *Biochemical Engineering Journal*, 2013, 77: 214-219.
60. Ye Jianchang, et al. Full scale implementation, operation, and performance of a structured sheet media IFAS system. In: *WEFTEC 2010. Water Environment Federation*, 2010. p. 2555-2565.

61. Li C., et al. Performance and microbial characteristics of integrated fixed-film activated sludge system treating industrial wastewater. *Water Science and Technology*, 2012, 66.12: 2785-2792.
62. Liu Yuan, et al. Upgrading of the symbiosis of Nitrosomanas and anammox bacteria in a novel single-stage partial nitrification–anammox system: Nitrogen removal potential and Microbial characterization. *Bioresource technology*, 2017, 244: 463-472.
63. Zhang Lei, et al. Anaerobic ammonium oxidation for treatment of ammonium-rich wastewaters. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2008, 9.5: 416-426.
64. Guerrero Javier, Guisasola Albert, Baeza Juan A. The nature of the carbon source rules the competition between PAO and denitrifiers in systems for simultaneous biological nitrogen and phosphorus removal. *Water Research*, 2011, 45.16: 4793-4802.
65. Winkler Mari Kh, et al. Unravelling the reasons for disproportion in the ratio of AOB and NOB in aerobic granular sludge. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2012, 94.6: 1657-1666.
66. Germain Eve, et al. Biomass effects on oxygen transfer in membrane bioreactors. *Water research*, 2007, 41.5: 1038-1044.
67. Helness H., Melin E., Ulgenes Y., Järvinen P., Rasmussen V. and Ødegaard H. High-rate wastewater treatment combining a moving bed biofilm reactor and enhanced particle separation. *Water Science and Technology*, 52(10-11), 2005. 117–127.
68. Christensson M. Moving on with MBBR. In: *Proceedings WEF/IWA Conference on Nutrient Recovery and Management*, 9–12 January 2011, Miami.
69. Hem L., Rusten B. and Ødegaard H. Nitrification in a moving bed biofilm reactor. *Water Research*, 28(6), 1994. 1425–1433.
70. Ødegaard H. New applications for MBBR and IFAS systems. In: *Frontiers in wastewater treatment and modelling*, G. Mannina (ed.), *Book Series: Lecture Notes in Civil Engineering*, Vol. 4. Springer Int. Publ. AG, Switzerland, 2017. pp. 499–507.

71. Jardin N. and Hennerkes J. Full-scale experience with the deammonification process to treat high strength sludge water - a case study. *Water Science and Technology*, 65(3), 2012. 447–455.
72. Veuillet F., Lacroix S., Bausseron A., Gonidec E., Ochoa J., Christensson M. and Lemaire R. IFAS ANITA™Mox process – A new perspective for advanced N-removal. Proc. of 9th IWA conf. on Biofilm Reactors, May 2013, Paris, France.
73. Barry U., Choubert J.-M., Canler J.-P., Pétrimaux O., Héduit A., Lessard P. A one dimensional moving bed biofilm reactor model for nitrification of municipal wastewaters. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 40 (8), 2018. 1141-1149.
74. Leyva-Díaz J. C., Martín-Pascual J., Poyatos J. M. Moving bed biofilm reactor to treat wastewater. *International journal of environmental science and technology*, 2017, 14.4: 881-910.
75. Di Trapani D., et al. Hybrid moving bed biofilm reactors: a pilot plant experiment. *Water science and technology*, 2008, 57.10: 1539-1545.
76. LEIKNES Torove, ØDEGAARD Hallvard. The development of a biofilm membrane bioreactor. *Desalination*, 2007, 202.1-3: 135-143.
77. Wang Rong-Chang, Wen Xiang-Hua, Qian Yi. Influence of carrier concentration on the performance and microbial characteristics of a suspended carrier biofilm reactor. *Process Biochemistry*, 2005, 40.9: 2992-3001.
78. Barwal Anjali, Chaudhary Rubina. To study the performance of biocarriers in moving bed biofilm reactor (MBBR) technology and kinetics of biofilm for retrofitting the existing aerobic treatment systems: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2014, 13.3: 285-299.
79. Martín-Pascual Jaime, Poyatos José Manuel, Hontoria Ernesto. Improvement of a conventional activated sludge process using a hybrid moving bed system. *Afinidad*, 2015, 72.572.

80. Frederick Mallory R., et al. A mathematical model of quorum sensing regulated EPS production in biofilm communities. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 2011, 8.1: 1-29.

81. Huang Chunkai, et al. Optimization of ozonation combined with integrated fixed-film activated sludge (IFAS) in the treatment of oil sands process-affected water (OSPW). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2016, 112: 31-41.

82. Ayati B., Ganjidoust H., Fattah M. Mir. Degradation of aromatic compounds using moving bed biofilm reactors. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 2007, 4.2: 107-112.

83. Wingender Jost, Neu Thomas R., Flemming Hans-Curt. What are bacterial extracellular polymeric substances?. In: *Microbial extracellular polymeric substances*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1999. p. 1-19.

84. Chen Xiaoqian, et al. Improvements on activated sludge settling and flocculation using biomass-based fly ash as activator. *Scientific Reports*, 2019, 9.1: 1-11.

85. Frølund Bo, et al. Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin. *Water research*, 1996, 30.8: 1749-1758.

86. D'abzac Paul, et al. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) from anaerobic granular sludges: comparison of chemical and physical extraction protocols. *Applied microbiology and biotechnology*, 2010, 85.5: 1589-1599.

87. Sheng Guo-Ping, Yu Han-Qing, Li Xiao-Yan. Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems: a review. *Biotechnology advances*, 2010, 28.6: 882-894.

88. Van Den Akker Ben, et al. Exploring the relationship between viscous bulking and ammonia-oxidiser abundance in activated sludge: a comparison of conventional and IFAS systems. *Water Research*, 2010, 44.9: 2919-2929.

89. Shin H.-S., Kang S.-T., Nam S.-Y. Effect of carbohydrate and protein in the EPS on sludge settling characteristics. *Water Science and Technology*, 2001, 43.6: 193-196.
90. Leyva-Díaz J. C., et al. Kinetic modeling and microbiological study of two-step nitrification in a membrane bioreactor and hybrid moving bed biofilm reactor–membrane bioreactor for wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 2015, 259: 692-702.
91. Mannina Giorgio, et al. Integrated fixed-film activated sludge membrane bioreactors versus membrane bioreactors for nutrient removal: a comprehensive comparison. *Journal of environmental management*, 2018, 226: 347-357.
92. Leyva-Díaz J. C., et al. Kinetic study of the combined processes of a membrane bioreactor and a hybrid moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor with advanced oxidation processes as a post-treatment stage for wastewater treatment. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2015, 91: 57-66.
93. Tao Chen, Hamouda Mohamed A. Steady-state modeling and evaluation of partial nitrification-anammox (PNA) for moving bed biofilm reactor and integrated fixed-film activated sludge processes treating municipal wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 2019, 31: 100854.
94. A. Malovanyy, J. Yang, J. Trela, E. Plaza Combination of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor and partial nitritation/anammox moving bed biofilm reactor (MBBR) for municipal wastewater treatment. *Bioresour. Technol.*, 180 (2015), pp. 144-153.
95. Sriwiriyarat T., Randall C. W. Performance of IFAS wastewater treatment processes for biological phosphorus removal. *Water Research*, 2005, 39.16: 3873-3884.

96. Ye Jianchang, et al. Pilot testing of structured sheet media IFAS for wastewater biological nutrient removal (BNR). In: WEFTEC 2009. Water Environment Federation, 2009. p. 4427-4442.

97. Bassin J. P., et al. Effect of different operational conditions on biofilm development, nitrification, and nitrifying microbial population in moving-bed biofilm reactors. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46.3: 1546-1555.

98. Kim Hyun-su, et al. Comparison of conventional and integrated fixed-film activated sludge systems: Attached-and suspended-growth functions and quantitative polymerase chain reaction measurements. *Water Environment Research*, 2011, 83.7: 627-635.

99. Huang Chunkai, et al. Optimization of ozonation combined with integrated fixed-film activated sludge (IFAS) in the treatment of oil sands process-affected water (OSPW). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2016, 112: 31-41.

100. Brockmann D, Boltz JP, Morgenroth E, Daigger GT, Henze M, Rittmann B, Sørensen KH, Taka 'cs I, Vanrolleghem PA, van Loosdrecht M (2013) Applying a framework for calibrating a biofilm-reactor model: a full-scale moving-bed biofilm reactor active in nitrification. In: 9th International Conference on Biofilm Reactors, IWA publishing LU, Editor 2013: Issy-Les-Moulineaux (France), 28–31st May 2013, p 8.

101. Kaldate A, Goel R, Schraa O, Snowling S, Stinson B, Murthy S (2010) Model calibration for a post-denitrification moving bed biofilm reactor. WEFTEC, New Orleans.

102. Oleynik A., Airapetian T., Kalugin Yu. Modeling and calculation of wastewater treatment in aerotank-mixers with suspended and attached biocenosis using nonlinear kinetics of mono. *Scientific Bulletin of Construction*. - 2019. - T. 97, № 3. - p. 113-122. DOI: 10.29295/2311–7257–2019–97–3–113–121.

103. Æsøy A., Ødegaard H. and Bentzen G. (1998). The effect of sulphide and organic matter on the nitrification activity in a biofilm process. *Water Science and Technology*, 37(1), 15–122.

104. Li Bing, et al. Understanding biofilm diffusion profiles and microbial activities to optimize integrated fixed-film activated sludge process. *Chemical Engineering Journal*, 2016, 302: 269-277.

105. Технологічний регламент очисної станції РОВКП «Рівнеоблводоканал», 2017 р. – 52 с.

106. Норматив гранично допустимого скидання речовин у водні об'єкти встановлені показники складу вод, що скидаються у річку Устя.

107. Фельбер Г., Фішер М. Посібник оператора каналізаційних очисних споруд / спільно зі спеціальним комітетом DWA БІЦ-2 «Базові курси»; пер. з нім. О. Галеми, Г. Котовські, Ю. Терещушка. – Львів : ПАІС, 2020. 520 с.

108. ДБН В.2.5.-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ, Мінрегіонбуд, 2013. 219 с. <https://www.minregion.gov.ua/DBN-V.2.5-752013.pdf>

109. Директива Ради Європи 91/271/ЄЕС "Про очистку міських стічних вод" від 21 травня 1991 року.

110. Міжнародна класифікація товарів і послуг для реєстрації знаків (Ніццька класифікація) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nice.uipv.org/>.

111. Сервіс для визначення кодів видів економічної діяльності за КВЕД-2005 та КВЕД-2010 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://kved.ukrstat.gov.ua/>.

112. Класифікатор професій ДК 003:2010 [Електронний ресурс] // Держспоживстандарт України. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va327609-10>.

113. Про затвердження Випуску "Професії працівників, що є загальними для всіх видів економічної діяльності" Довідника кваліфікаційних характеристик професій працівників: Наказ Мінпраці України від 29 грудня 2004 р [Електронний ресурс] // Мінпраці України. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0336203-04>.

114. НПАОП 41.0-1.01-79. Правила техніки безпеки при експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених місць.

115. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. [Чинний від 2011-08-01]. К. Держспоживстандарт України, 2011. 10 с.

116. НАПБ 06.004-07 «Перелік однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації» Чинний від 03.08.2007. Київ: МНС, 2007.